

ISSN 2409-9392

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Кіровоградський національний технічний університет

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ,  
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

За загальною редакцією М.І. Черновола

Заснований у 2001 році

**В и п у с к 29**

Кіровоград • 2016

ББК 34.751+32.965=31  
УДК 62:631.3

Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/. – вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 318 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Збірник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів університету, а також інших навчальних закладів та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ВНЗ, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Кіровоградського національного технічного університету, протокол № 7 від 28 березня 2016 року.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Белоцерковський М.А., д-р техн. наук, проф. (Білорусь); Варума Аріфа, Dr PhD (Нігер); Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Автоматизація”); Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Жорнік В.І., д-р техн. наук (Білорусь); Кириченко А.М., д-р техн. наук, доц.; Кропівний В.М., канд. техн. наук, проф. (заступник головного редактора); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф.; Осіпов І.М., канд. техн. наук, доц. (науковий редактор за напрямком “Техніка в сільськогосподарському виробництві”); Павленко І.І., д-р техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Галузеве машинобудування”); Петренюк А.Я., д-р ф.-м. наук, проф.; Сабірзянов Т.Г., д-р техн. наук, проф.; Сафонов В.В., д-р техн. наук, проф. (РФ); Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар).

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кіровоград, проспект Університетський, 8, Кіровоградський національний технічний університет, тел.: 390-472, 390-437, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Збірник включений рішенням Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України в перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Затверджений наказом Міносвіти і науки України № 1528 від 29.12.14р.

Збірник наукових праць зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» та включений в міжнародну наукометричну базу даних Google Scholar (бібліометричні показники –  $quot.=249 / h = 6 / i10 = 1$ ).

Реєстраційне свідоцтво: серія KB № 15253-3825 ПП від 30.04.2009 р.  
ISSN 2409-9392

**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

УДК 656.338.12

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, О.М. Лівіцький, здобувач, О.М. Замота, здобувач**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*  
*E-mail: aulin52@mail.ru*

## Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві

В статті розроблена методологія вибору та управління ефективністю використання сільськогосподарської техніки по техніко-економічним показникам та обґрунтовано нелінійний характер витрат на ТО і Р при експлуатації машини. Представлено алгоритм вибору оптимальної сільськогосподарської машини та ефективності її використання в аграрному виробництві, який необхідно робити на основі техніко-економічного аналізу для конкретних умов її роботи. Детально розглянуто життєвий цикл машини та ремонтні витрати на підтримання техніки до того моменту, доки проведення ремонту стає економічно не вигідним. Приведена сукупність показників оцінки життєвого циклу машин, що базуються на їх ресурсі до повного спрацювання.

На основі створеної бази техніко-економічних показників експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ) в умовах аграрного виробництва України, була розроблена комп'ютерна програма, що дозволяє враховувати реальні витрати на її ТО і Р, МСГТ, що дало можливість управління складом збирально-транспортних комплексів (загонів) у підприємствах сільськогосподарського виробництва.

**ефективність використання техніки, управління, сільськогосподарська техніка, витрати, методологія, ресурс машин**

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, А. Н. Ливицкий, соискатель, О. Н. Замота, соискатель**  
*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

### **Методология выбора и управления эффективностью использования техники в сельскохозяйственном производстве**

В статье разработана методология выбора и управления эффективностью использования сельскохозяйственной техники по технико-экономическим показателям и обоснован нелинейный характер расходов на ТО и Р при эксплуатации машины. Представлен алгоритм выбора оптимальной сельскохозяйственной машины и эффективности ее использования в аграрном производстве, который необходимо делать на основе технико-экономического анализа для конкретных условий их работы. Детально рассмотрен жизненный цикл машины и ремонтные затраты на поддержание техники к тому моменту, пока проведение ремонта становится экономически невыгодным. Приведенна совокупность показателей оценки жизненного цикла машин, которые базируются на их ресурсе до полного изнашивания.

На основе созданной базы технико-экономических показателей эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) в условиях аграрного производства Украины, была разработана компьютерная программа, позволяющая учитывать реальные расходы на ТО и Р, МСХТ, что дало возможность управления составом уборочно-транспортных комплексов (отрядов) на предприятиях сельскохозяйственного производства.

**эффективность использования техники, управление, сельскохозяйственная техника, расходы, методология, ресурс машин**

**Постановка проблеми.** Сільськогосподарські роботи мають сезонний характер, а тому використання сільськогосподарської техніки (СГТ) відбувається за обмеженого часу. Зі збільшенням розміру фермерських господарств потрібні машини великої продуктивності, щоб розв'язати поставлені перед ними завдання під час відносно короткого проміжку часу. На відміну від промислових машин, амортизація яких може проходити за тисячі годин, використання сільськогосподарських машин (СГМ) повинні окупатися за сотні годин експлуатації. Втрата оптимальних термінів використання СГТ при збиранні врожаю приводить до значних збитків з врахуванням обмеженості цього терміну. СГТ має бути зроблена з великою надійністю і мати високу ефективність, а тому правильний вибір СГМ і управління ними є безумовно важливим для її виробників і споживачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно досліджень американських вчених [1], порядок вибору техніки та управління її ефективністю у сільськогосподарському виробництві (СГВ) безпосередньо залежить від необхідного об'єму робіт, характеристики машин та їх продуктивності. Спочатку треба знати об'єм оброблювальних площ та види робіт, і визначити ефективність використання того або іншого типу машин для виконання конкретних видів робіт. Потім машини підбираються за тяговими та показниками потужності. За цими показниками існують тільки мінімальні обмеження: з необхідним об'ємом робіт, наприклад, можуть справлятися трактори з більш потужними агрегатами, а їх використання в господарствах агропромислового комплексу (АПК) вимагає детального техніко-економічного обґрунтування. Воно може бути зроблено на основі визначення повної вартості експлуатації машин, яка включає вартість використання і керування технічним станом машин.

При використанні СГТ основні витрати йдуть на паливо і оливу, технічне обслуговування і ремонт (ТО і Р). Ці витрати корелюють з їх технічним станом [2,3]. Аналіз публікацій у цьому напрямку свідчать про те, що їх лінійне зростання при експлуатації не зовсім відповідає дійсності. Про це свідчать роботи [4,5] в яких йде мова про нелінійний характер зростання цих витрат. Окрім цього важливим чинником, що впливає на вартість використання машини, є її здатність виконувати необхідний об'єм робіт у встановленні терміни, що пов'язане з особливостями СГВ. Витрати при несвоєчасному виконанні робіт, можуть бути значними, що різко знижує ефективність використання малих машин, незважаючи на їх низьку вартість і експлуатаційні витрати.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є розробка методології вибору та управління ефективністю використання СГТ по техніко-економічним показникам та обґрунтування нелінійного характеру витрат на ТО і Р при оптимальному терміні виконання робіт машиною.

**Виклад основного матеріалу** Аналіз літературних джерел і досвід управління ефективністю використання техніки у СГВ свідчить, що вибір оптимальної СГМ необхідно робити на основі техніко-економічного аналізу для конкретних умов їх роботи, згідно алгоритму представленому на рис.1.

Обсяг польових робіт, виконаних СГМ, можна подати у вигляді обсягу по оброблювальній площі  $q_s$  та зібраного врожаю  $q_m$  за одиницю часу:

$$q_s = \frac{v_m \cdot B \cdot K_{ee}}{10} \quad ; \quad q_m = q_s \cdot A_p, \quad (1)$$

де  $q_s$  – обсяг оброблювальної площі поля за одиницю часу, га/год ( $q_s = q_{st}$  при  $\eta_f = 1,0$ );

$q_m$  – обсяг зібраного врожаю за одиницю часу, т/год ( $q_m = q_{mt}$  при  $K_{ee} = 1,0$ );

$v_m$  – швидкість руху машини, км/год;

$B$  – робоча ширина захвату машини, м;  
 $A_p$  – врожайність сільськогосподарської культури, т/га;  
 $K_{ев}$  – коефіцієнт ефективності використання.

Теоретичний обсяг польових робіт  $q_{ст}$  використовується для опису робіт, коли коефіцієнт ефективності дорівнює 1. Зазначене реалізується у випадках 100% використання машиною своєї ширини захвату без переривання на повороти та інші некорисні затрати часу. Швидкість переміщення машин, що виробляють продукт може бути обмежена обсягом польових робіт  $q_{мт}$ , у натурному відображенні. Для даних  $q_{мт}$ , робочої ширини захвату  $B$  і врожайності  $A_p$  вирази (1) можуть бути використано з  $K_{ев}=1,0$  для знаходження допустимої швидкості руху агрегату. Цей вираз не підходить для машин, що не виробляють продукт.

Теоретичний час виконання операцій під час роботи машини визначається за формулою:

$$t_T = \frac{S_n}{q_{ст}}, \quad (2)$$

де  $t_T$  – теоретичний час виконання операцій, год;

$S_n$  – площа обробки поля, га;

$q_{ст}$  – теоретичний обсяг польових робіт, що витрачається машиною при обробці  $S_n$  площі поля, га/год.

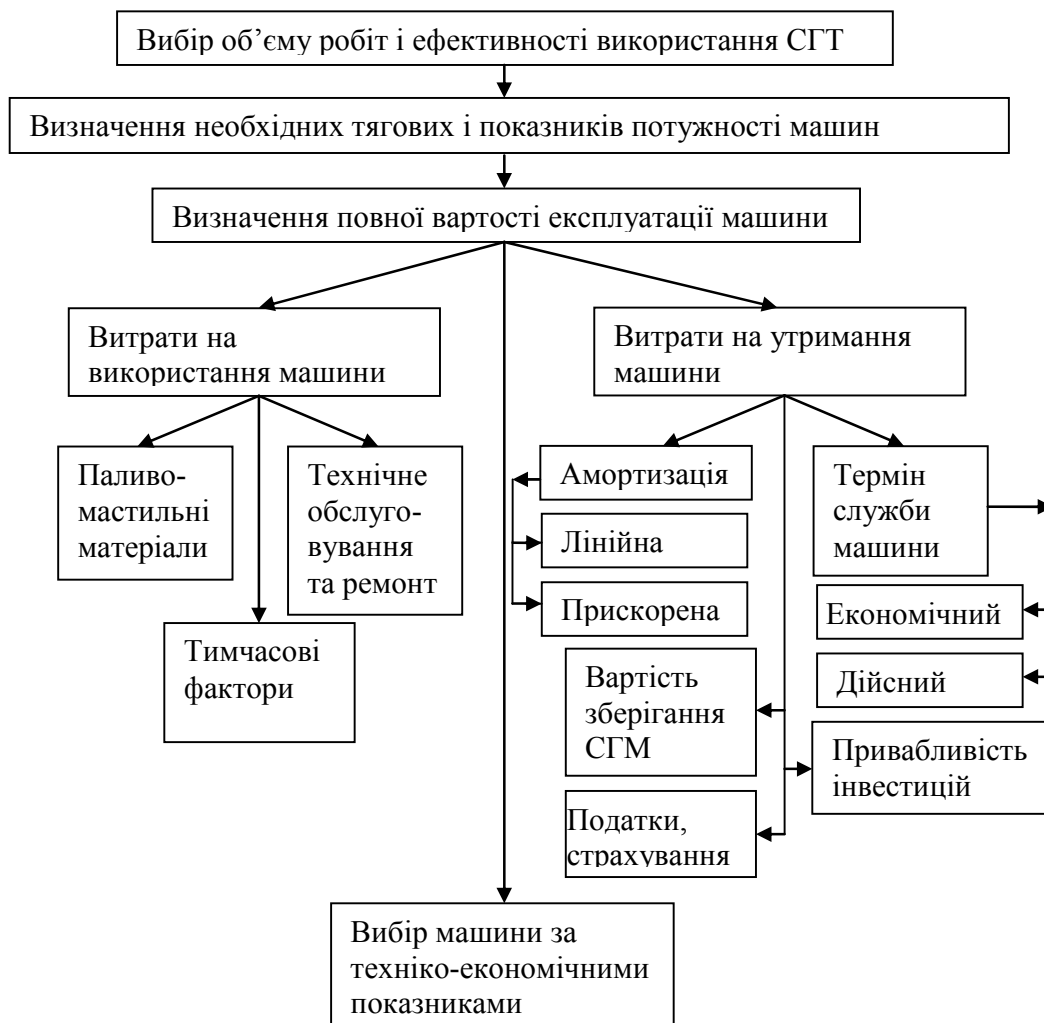


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму вибору і ефективності використання машини у СГВ

Дійсний час, необхідний для виконання машиною певної операції, може бути збільшено через перекриття оброблюваної площі при наступному проході, часу, необхідного на повороти в кінці поля, часу на навантаження і розвантаження матеріалів СГВ і т.д.

При цьому коефіцієнт ефективності використання машини визначається співвідношенням:

$$K_{\text{ев}} = \frac{\tau_t}{t_e + t_s + t_t}, \quad (3)$$

де  $t_e = t_v / K_B$  – ефективний операційний час, год;

$K_B$  – частина ефективного використання робочої ширини захвату машини, м;

$t_s$  – витрати часу пропорційні оброблюваній машинами площі, год;

$t_t$  – витрати часу пропорційні тривалості роботи машини, год.

Час  $t_s$  і  $t_t$  представляють два різновиди витрат часу і всі витрат часу містять в них. Наприклад,  $t_s$  є типовою витратою, що включає зміну робочого органу, заправку матеріалами, наприклад, добривами, насіння та інших операцій. Час на вивантаження зібраних сільськогосподарських культур пропорційний  $S_i$  збільшується зі збільшенням врожайності  $A_p$ . В той час  $t_t$  – типова витрата часу пропорційна ефективному операційному часу  $t_e$ . Останнє включає проміжки часу на додаткові зупинки, наприклад, на ТО і Р та переміщення агрегату від краю поля при нормальній швидкості руху. Конфігурація поля включає на  $t_t$ : якщо поле довге і вузьке, то  $t_t$  буде мало впливати на  $t_e$ , оскільки машина буде мати менше поворотів в кінці даного поля, час необхідний для руху машини до поля або від поля не включається в розрахунки по визначенню ефективності польових робіт в цілому, хоча ефективність буде сильно залежати від відстані між полями і від відстані до місця зберігання техніки.

Розрахунок ефективності та об'єму польових робіт наведено у прикладі (пр. 15)

Відмови машин також впливають на витрати часу і зменшують ефективність їх роботи на полі, якщо відмови відбуваються підчас експлуатації. Робочий час можна зменшити у зв'язку з погіршенням їх надійності. Один з шляхів оцінки надійності є оцінка часу простою між поломками. Надійність парку машин або компонентів в машині можна розглядати як послідовне з'єднання:

$$R_m = \frac{\prod_{i=1}^n r_i}{10^{2(n-1)}}, \quad (4)$$

де  $R_m$  – ймовірність безвідмовної роботи, машинно-тракторного парку (МТП) або окремої взятої машини;

$r_1 \dots r_n$  – ймовірність окремої машини або її компонентів, %;

$n$  – кількість машин в МТП або компонентів окремої машини, що знаходяться у послідовному функціональному з'єднанні машин або їх компонентів.

Зусилля та обсяг виконаних польових робіт є важливим фактором. Тягові та вимоги щодо потужності використовуються при виборі тракторів і обладнання у зв'язку з тим, що трактори повинні бути достатньо потужними, щоб перекрити дані вимоги до обладнання. Двигун в мобільній сільськогосподарській техніці (МСГТ) повинен бути настільки потужним, щоб забезпечити енергією виконання польових операцій.

Для оцінки необхідного тягового зусилля одиниці техніки використовують рівняння:

$$F_i = k_i (a + b \cdot v_m + c \cdot v_m^2) \cdot B \cdot h, \quad (5)$$

де  $F_i$  – тягове зусилля, кН;

$h$  – глибина обробки ґрунту;

$k_i$  – безрозмірний коефіцієнт, значення якого розраховується. Позначення  $i$  залежить від типу ґрунту:  $i=1$  – для легких;  $i=2$  – для середніх;  $i=3$  – для важких ґрунтів;

сталі  $a$  та  $b$ ,  $c$  – визначаються методом найменших квадратів за відомими з експериментів величинами:  $F_i$ ,  $v_m$ ,  $B$ ,  $h$ .

Тягові характеристики є усередненими і можуть змінюватися як в позитивну, так і в негативну сторону. Знаючи тягові зусилля, можна розрахувати тягову потужність:

$$P_{\text{тяг}} = 0,28 \cdot F_i \cdot v_a, \quad (6)$$

де  $P_{\text{тяг}}$  – тягова потужність машини, кВт;

$v_a$  – швидкість агрегату задається.

Трактори часто поділяють за гальмівною потужністю або потужністю валу відбору потужності (ВВП). Після оцінки тягового зусилля або потужності ВВП, розраховують потужність на маховику.

В машинах, що мають ротаційні робочі органи, потужність подається від ВВП або двигуна, що є характерним для деяких типів самохідних машин, МСГТ. Для визначення потужності ротаційної використовується формула:

$$P_{\text{rot}} = a_1 + b_1 \cdot B + c_1 \cdot q_m, \quad (7)$$

де  $P_{\text{rot}}$  – потужність ротаційної машини, кВт;

$a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  – сталі для вибраної машини, які визначаються методом МНК.

Для деяких машин тягові зусилля на гаку повинні бути додані до зусиль на привід ротаційних робочих органів, щоб отримати загальні тягові зусилля. Наприклад, для комбайна, що збирає картоплю, вимагається додати 40% потужності на привід ротаційних робочих органів.

Витрати на машину складаються із витрат на її використання та володіння, а також з витрат через несвоєчасне виконання сільськогосподарських робіт. Сукупні витрати – це сума витрат на володіння і експлуатацію техніки. Витрати на володіння, використання і загальні витрати можуть бути розраховані на рік, годину і погектарно.

Повні погектарні витрати обчислюються діленням загальної річної вартості на площу, оброблену машиною протягом року. При цьому розмір податку – це вартість виплачена за наймання агрегату, машини та обладнання для виконання заданих задач. Можна порівняти загальні погектарні витрати використання машини з податковими витратами, щоб визначити найбільш вигідний варіант: придбати машину або найняти її та оператора для виконання даної задачі. Виявлено, що погектарні витрати володіння машиною обернено пропорційні оброблюваній площі за рік. Тому в фермерському господарстві повинен бути мінімально необхідний обсяг робіт, при якому додаткові витрати на володіння технікою будуть економічно виправдані щодо купівлі машини. Таким чином, повна вартість експлуатації машин полягає у вартості використання і володіння технікою.

Вартість володіння технікою включає в себе амортизацію (лінійну або прискорену), вартість податків і страхування, враховуючи строк служби машини, вартість її зберігання і можливість продажу (привабливість інвестицій). Оскільки через амортизацію знижується вартість машини з плином часу і її використанням, то це є найбільш істотною частиною вартості машини, але вона часто не може бути визначена до моменту її продажу.

Існує декілька методів оцінки амортизації, один з яких оцінка поточного значення, на основі різних цінових рекомендацій для використовуваних машин і обладнання. Широкого поширення набуло відновлення вартості машини в перші роки з

низьким амортизаційним відрахуванням в наступні періоди. Швидка амортизація використовується власниками машин, щоб отримати переваги податку на прибуток.

Для спрощення розрахунків витрат на експлуатацію машин використовується прямолінійна амортизація, при якій різниця між купівельною та утилізаційною ціною ділиться на термін експлуатації, щоб отримати щорічну суму амортизації. Величина амортизації та визначення залишкової вартості машини може бути визначена із використання фактору відновлення капіталу.

Життєвий цикл машини може бути обмеженим її спрацюванням, яке не відбувається у визначений момент часу. Ремонтні затрати на підтримання техніки поступово зростають до того моменту доки проведення ремонту стає економічно не вигідним. Старіння відбувається, коли машина знімається з виробництва, виникають складності із запчастинами, коли вона може бути замінена іншою машиною або методом виробництва, яке буде приносити великий дохід. Є ціла сукупність показників оцінки життєвого циклу ряду машин, що базуються на їх ресурсі до повного спрацювання. При цьому тривалість експлуатації до повного спрацювання може бути визначена діленням на річну кількість годин використання

В багатьох випадках машини, через обмеження річного використання, не перевищують цих показників і термін економічного життя машин визначається, як тривалість часу після купівлі машини до того моменту, коли найбільш економічно вигідно замінити машину на іншу, ніж продовжувати використовувати першу, до повного зношування або старіння, тобто це тривалість експлуатації, на яку можна розраховувати вартість володіння машиною.

Гроші, які спрямовують на купівлю машини не доступні для інших виробничих підприємств. У вартість володіння можна включати привабливість грошей, які інвестуються в машину. Якщо позика використана, щоб придбати машину, то відсоткова ставка відома. Якщо машина купується за готівкові гроші, то обґрунтована відсоткова ставка розраховується з урахування того, яка сума буде отримана, якщо гроші не були витрачені на купівлю машини. Основним принципом у розподілі є рівноцінний розподіл залишкової вартості машини в конкретному році. У спрощеному варіанті, коли використовується метод прямолінійної амортизації, величина річної амортизації машини постійна протягом всього строку експлуатації машини. Вона визначається, як різниця між середніми витратами на купівлю нової машини і залишкової вартості машини, поділеною на число років експлуатації. Альтернативно це може ввійти у фактори відновлення капіталу.

Податки включають в себе податок з вартості купівлі машини і податок на нерухомість, розраховану по залишковій вартості у будь-якому році. Для спрощення, обидва види податків розподіляються на весь період експлуатації машини. Проектувальник машини може не знати величину податкової ставки для розрахунку витрат на експлуатацію, якщо машини будуть використовуватися в різних державах. Якщо фактичні податки не відомі, то можна оцінювати річне податкове навантаження у розмірі 1% купівельної ціни машини.

Страхові витрати слід обов'язково включати і вони повинні базуватися на залишковій вартості машини. Якщо страхові витрати невідомі, то передбачена оцінка річної страхової вартості – 0,25% купівельної вартості машини.

Незважаючи на відсутність економічного обґрунтування, що доводить економічну вигоду збереження машини в спеціальних приміщеннях, підвищення якості зберігання, техніка збільшує строк активної експлуатації і краще зберігає продажну вартість машини. Якщо є гараж (ангар), то можна обчислити вартість зберігання техніки в них. Якщо ні, то імовірні витрати пов'язані зі зменшенням строку

експлуатації машини або зменшенням ціни перепродажу. Тому вартість гаражу (ангару) потрібно включати, незалежно від того є він або ні. Вважається, що річна його вартість постійна протягом життєвого циклу машини. Якщо відсутні дані про вартість гаражу (ангару), то оцінюють їх річну вартість, як 0,75 % купівельної ціни машини.

Повна сума податку, страхування і збереження може бути оцінена у 2% від купівельної ціни машини, якщо більш точні дані недоступні. Хоча податки, страхування і зберігання відносно невеликі від повної вартості власності, їх необхідно включати. Сумарні засоби володіння технікою знаходяться по формулі:

$$q_{os} = \frac{q_{oa}}{P_u} = (1 - S_v) \cdot \left[ \frac{I_r (1 + I_r)^{t_L}}{(1 + I_r)^{t_L} - 1} \right] + \frac{K_{tis}}{100}, \quad (8)$$

де  $q_{os}$  – засоби володіння, 1/рік;

$q_{oa}$  – питомі засоби володіння, грн/рік;

$P_u$  – ціна купівлі машини, грн;

$S_v$  – втрата вартості від ушкоджень, як частини купівельної ціни;

$I_r$  – реальна річна відсоткова ставка, десяткова(0,1; 0,2;.);

$t_L$  – тривалість економічного життя машини, років;

$K_{tis}$  – річна вартість страхових податків і зберігання як відсоток від ціни купівлі.

Реальна річна відсоткова ставка:

$$I_r = \frac{I_p - I_q}{1 + I_q}, \quad (9)$$

де  $I_p$  – переважаюча річна процентна ставка;  $I_q$  - загальна ставка інфляції.

Вартість використання машини включає вартість праці, палива, оливи, ТО і Р.

Вартість паливо-мастильних матеріалів (ПММ) визначають з формули:

$$G_s = \frac{P_L \cdot Q_i}{q_a}, \quad (10)$$

де  $G_s$  – погектарна вартість палива і оливи, грн /га;

$P_L$  – ціна палива, грн /л;

$Q_i$  – витрата палива, л/год;

$q_a$  – ефективна продуктивність, га/год.

Вартість ТО становить:

$$\frac{C_{rm}}{P_L} = RF_1 \cdot \left[ \frac{t}{1000} \right]^{RF_2}, \quad (11)$$

де  $C_{rm}$  – сумарні засоби на ТО і Р, грн;

$t$  – сумарний час використання, год;

$RF_1, RF_2$  - ремонтні показники.

Були проведені дослідження витрачених засобів на ТО і Р транспортних засобів (ТЗ) у СГВ [4-6]. Аналізувалися витрати на ремонт  $C_{rm}$ , що включають витрати на планове ТО і Р  $C_{ТОіР}$  і засоби на усунення аварійних поломок  $C_{пол}$  залежно від пробігу автомобіля і терміну його експлуатації. Отримані результати представлені на рис.2.

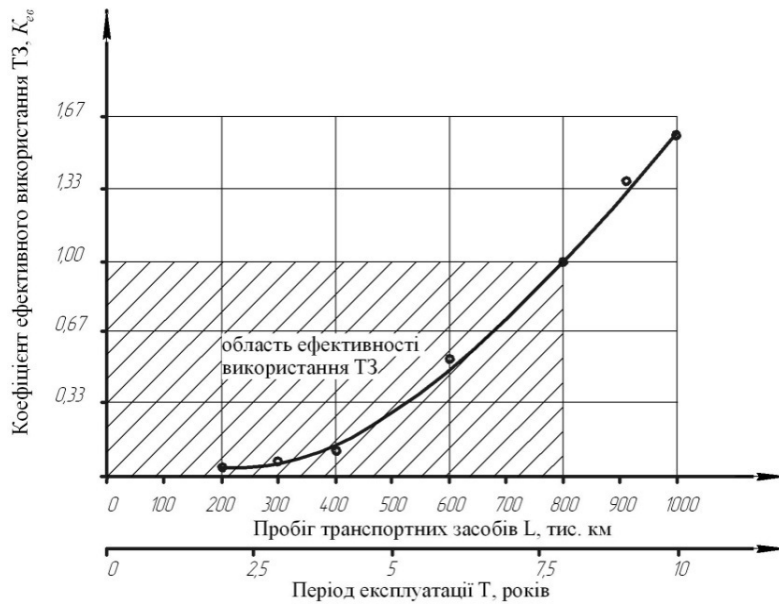


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта ефективного використання від пробігу (періоду експлуатації)

Витрати на підтримку ТЗ в працездатному стані зростають з віком (пробігом). Слід зазначити те, що це зростання не є лінійним і витрати на ремонт  $C_p$  значно збільшуються з віком ТЗ. Тому, використання лінійних  $K_{ев}$  залежностей для підрахунку цих витрат не відповідає дійсності і вимагає коригування.

Витрати, пов'язані з оптимальним терміном виконання робіт можна оцінити по формулі:

$$C_t = \frac{K_t \cdot S_n \cdot A_p \cdot V}{\lambda_0 \cdot T \cdot q_s \cdot P_{wd}}, \quad (12)$$

де  $C_t$  – витрати, пов'язані з терміном виконання робіт, грн/га;

$K_t$  – коефіцієнт оптимального виконання робіт за часом, як відсоток урожаю, що втрачається;

$S_n$  – площа посівів, га/рік;

$A_p$  – врожайність, т/га;

$V$  – ціна тони урожаю, грн/т;

$\lambda_0 = 2$  – якщо операція закінчується в оптимальний час;  $\lambda_0 = 4$  – якщо операція наближається до оптимального часу;

$T$  – доступний для роботи час, год/день;

$q_s$  – ефективна продуктивність машини, га/ч;

$P_{wd}$  – ймовірність хороших погодних умов.

Вибір машини для конкретних оброблюваних площ знаходиться по формулі:

$$q_{s\,opt} = \sqrt{\frac{A}{q_{os} \cdot K_p} \cdot \left[ L_p + T_{fc} + \frac{K_t \cdot S_n \cdot A_p \cdot V}{\lambda_0 \cdot T \cdot P_{wd}} \right]}, \quad (13)$$

де  $C_{s\,opt}$  – оптимальна ефективна місткість поля, га/год;

$L_c$  – вартість праці, грн/год;

$T_{fc}$  – вартість володіння МСГТ, грн/год;

$K_p$  – цінова функція, грн·год/га.

Вартість володіння МСГТ (наприклад трактора, МСГТ, автомобіля) дорівнює:

$$T_{fc} = \frac{C_{oat}}{t_{At}}, \quad (14)$$

де  $C_{oat}$  – річна вартість володіння МСГТ (наприклад, трактора, автомобіля), грн/рік;

$t_{At}$  – загальний об'єм робіт МСГТ, год/рік.

Цінова функція знаходиться по формулі:

$$K_p = \frac{10 \cdot P_w}{v \cdot K_{ев}}, \quad (15)$$

де  $K_p$  – цінова функція, грн·год/га;

$P_w$  – вартість машин, віднесена до 1 м ширини захвату, грн/м;

$v$  – швидкість, км/год;

$K_{ев}$  – коефіцієнт ефективності використання МСГТ.

На основі техніко-економічного аналізу приймається остаточне рішення про вибір оптимальної машини для конкретних умов.

Вибір машини і її заміна здійснюється за мінімально можливими витратами з урахуванням усіх вище перелічених чинників. Графічний метод знаходження мінімальних витрат на обробку гектара посівних площ дозволяє визначити оптимальний відносний розмір сільськогосподарської машини (рис.3).

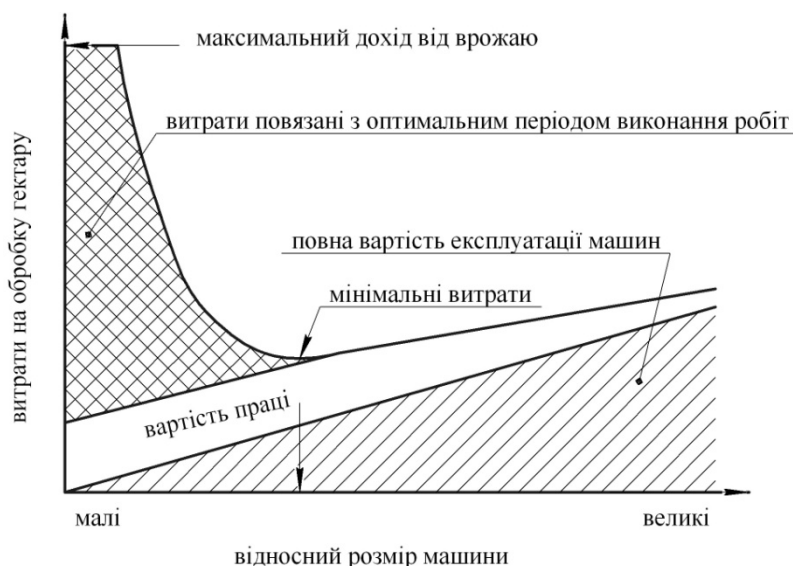


Рисунок 3 – Схема визначення оптимального відносного розміру сільськогосподарської машини

Для впровадження цієї методики необхідно створити базу сільськогосподарських машин, знати техніко-економічні показники їх експлуатації в умовах аграрного виробництва України. Розроблена комп'ютерна програма дозволила враховувати реальні витрати на ТО і Р СГМ, що дало можливість управляти складом збирально-транспортних комплексів (загонів) у сільськогосподарських підприємствах.

#### Висновки:

1. Розроблено методику вибору і управління МСГТ, що враховує наступні чинники: обмеженість термінів виконання агротехнічних операцій; нелінійне зростання витрат на ТО і Р зі збільшенням терміну служби машини; зміна вартості володіння технікою.

2. Представлено алгоритм вибору оптимальної МСГТ.

3. На основі створеної бази техніко-економічних показників експлуатації МСГТ в умовах аграрного виробництва України, була розроблена комп'ютерна програма, що дозволяє враховувати реальні витрати на її ТО і Р, МСГТ, що дало можливість управління складом збирально-транспортних комплексів (загонів) у підприємствах СГВ.

## Список літератури

1. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2<sup>nd</sup> Edition Chapter 15 pp. 525-552 (Copyright 2006 American Society of Agricultural Engineers).
2. Черновол М.І. Методика застосування системи діагностичного моніторингу технічного стану дизелів при різних стратегіях ТОіР засобів транспорту / М.І. Черновол, В.В. Аулін, О.Ю. Жулай, В.Я. Чабанний // Вісник Інженерної академії України. – 2008. – №2. – С. 50-55.
3. Полянский А.С. Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники в машинно-технологических станциях (МТС) Харьковской области / А.С. Полянский // Сб. науч. тр. – Х.: ХГТУСХ, 2000. – С.119-123.
4. Аулін В.В. Економічне обґрунтування ефективності та рентабельності використання транспортних засобів на АТП / В.В. Аулін, О.М. Замота // Вісник інженерної академії України. – 2014. – №3. – С. 151-158.
5. Аулін В.В. Теоретичні передумови формування собівартості перевезень при різних системах технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів / В.В. Аулін, О.М. Замота // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №2. – С.162-165.
6. Замота О.Н. Сравнительная оценка затрат на использование автомобилей в современных условиях / О.Н. Замота // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. – 2015. – Вип.24. – С. 308-315.

**Viktor Aulin, Prof., DSc., Olexandr Livitskiy, applicant, Oksana Zamota, applicant**

*Kirovograd national technical university, Kirovograd, Ukraine*

### **Methodology of choice and management by efficiency of the use of technique in an agricultural production**

In the article the methodology of choice and management by efficiency of the use of agricultural technique on technical and economic indices is developed and nonlinear character of expenses for M and R during exploitation of machine is validated. The algorithm of choice of optimal agricultural machine and efficiency of its use in an agrarian production is presented, which must be done on the basis of technical and economic analysis for the concrete terms of their work. In detail the life cycle of machine and repair expenses are considered on maintenance of technique to that moment, while realization of repair becomes unprofitable economic. The aggregate of indexes of estimation of life cycle of machines which are based on their resource to the complete wear are adducted.

On the basis of the created base of technical and economic indices of exploitation of mobile agricultural technique (MAT) in the conditions of agrarian production of Ukraine, the computer program, allowing to take into account the real charges on M and R, was worked out, MAT, that enabled management composition of harvest-transport complexes (detachments) on the enterprises of agricultural production.

**efficiency of the use of technique, management, agricultural technique, charges, methodology, resource of machines**

Одержано 28.12.15

УДК 631.352

**Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: asbdv@ukr.net*

## Перспективні напрямки вдосконалення конструкцій технічних засобів для подрібнення рослинних решток

Наведений напрям розробки та вдосконалення сільськогосподарських машин для подрібнення рослинних решток в Україні є новим та дуже актуальним. Представлено аналіз результатів польових випробувань двох типів подрібнювачів рослинних решток вітчизняного виробництва. Основним показником роботи даного типу машин обрано співвідношення розмірів решток стебел після подрібнення в залежності від використання граблин. Одним із способів підвищення якості подрібнення є встановлення додаткового пасивного робочого органу - граблини, для орієнтації стебел перпендикулярно лезам ножів робочих органів подрібнювачів. Наведені результати випробувань свідчать про доцільність використання граблин для даного типу сільськогосподарської техніки.

**подрібнювач, коток-подрібнювач, стебла, довжина, рослинні рештки, граблина**

**Д. В. Богатырёв, доц., канд. техн. наук, В. М. Сало, проф., д-р техн. наук, О. А. Кислун, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Перспективные направления совершенствования конструкций технических средств для измельчения растительных остатков**

Приведенное направление разработки и совершенствования сельскохозяйственных машин для измельчения растительных остатков в Украине является новым и очень актуальным. Представлен анализ результатов полевых испытаний двух типов измельчителей растительных остатков отечественного производства. Основным показателем работы данного типа машин избран соотношение размеров остатков стеблей после измельчения в зависимости от использования граблей. Одним из способов повышения качества измельчения является установление дополнительного пассивного рабочего органа - граблин, для ориентации стеблей перпендикулярно лезвиям ножей рабочих органов измельчителей. Приведенные результаты испытаний свидетельствуют о целесообразности использования граблей для данного типа сельскохозяйственной техники.

**измельчитель, коток-измельчитель, стебли, длина, растительные остатки, граблина**

**Постановка проблеми.** В останні роки Україну заповнили нетрадиційні, а в ряді випадків і невідомі до цього часу для працівників села технології виробництва продукції рослинництва. Розпочалися зміни з використання імпортних комбайнів, які залишали на полях практично всю незернову частину врожаю. Такі прийоми дозволили підвищити продуктивність процесів збирання, скоротити загальні терміни жнив, але виникла проблема подальшої переробки рослинних решток. Для наших виробників найбільш простим шляхом її вирішення виявилось масове використання дискових ґрунтообробних знарядь. Як результат – руйнування структури поверхневих родючих шарів ґунту, змінання цінних у агротехнічному відношенні агрегатів, переведення їх в пиловидний безструктурний стан, переущільнення нижніх шарів ґунту, порушення процесів аерації і інфільтрації, зниження запасів продуктивної вологи в нижніх

горизонтах. За кордоном в таких випадках використовують спеціальні машини – подрібнювачі рослинних решток (ПРР). В Україні подібні машини є маловідомими, дорогими та сприймаються виробниками сільськогосподарської продукції, як процес в змісті технології що потребує додаткових затрат і може бути не обов'язковим. Крім цього, за характерними для кожного типу даних машин конструктивними особливостями, при використанні в традиційних для України технологіях виробництва, вони не завжди і не після кожної культури забезпечують необхідну якість подрібнення рослинних решток [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На ринку сільськогосподарської техніки України ПРР представлено двома основними групами: з вертикальною та горизонтальною віссю обертання активних робочих органів. В Україні набули поширення ПРР з вертикальною віссю обертання фірм «Schutle» (Канада), «Kunh» (Франція), «Joskin» (Бельгія), «Del Morino» (Італія) та «МСMS» (Польща). Вітчизняними фахівцями також розроблено пробні партії ПРР: ПН-2 «Білоцерків-МАЗ», ПР-2,6 «Агрореммаш», ПРУ-2,8 «Бердянськільмаш» та інші. Подрібнювачі з горизонтальною віссю обертання представлено фірмами «Kunh» (Франція) «Mashio» (Італія), «Rhino» та «John Deere» (США) [2].

В умовах центрального Степу України найбільшого поширення набувають ПРР з вертикальною віссю обертання активних робочих органів. Даний тип ПРР з шириною захвату до 4 м виготовляють начіпними, а з більшою шириною захвату – причіпними з розкладною конструкцією рами. Особливої уваги виробники приділяють опорним пристроям ПРР, від чіткості спрацювання яких суттєво змінюватимуться якісні параметри безпідпорного різання. На ПРР начіпного типу використовують колеса які самовтановлюються у кількості від одного до чотирьох на кожну секцію. На високопродуктивних ПРР встановлюють гідрофіковані опорні пристрої з функцією копіювання поверхні поля для якісного виконання процесу подрібнення.

Порівнюючи найбільш розповсюджені подрібнювачі рослинних решток встановлено [2], що питома енергоємність агрегатів з вертикальною віссю обертання активних робочих органів на 37% менша ніж з горизонтальною (при однаковому значенні таких параметрів: як робоча швидкість агрегату, висота зрізування, ширина захвату та маса). Це пояснюється тим, що ПРР з вертикальною віссю обертання мають простішу конструкцію робочих органів, меншою їх кількістю на одиницю ширини захвату, а також нижчою (на 60%) частотою обертання цих органів. Також робочі органи ПРР з вертикальною віссю обертання є менш складними у виготовленні та набагато легшими.

Проаналізувавши конструктивно-експлуатаційні показники виконання технологічного процесу ПРР з активними робочими органами встановлено наступні шляхи подальшого удосконалення:

- найбільш сприятливими з точки зору енергоємності процесу, на сьогодні, є ПРР з вертикальною віссю обертання активних робочих органів;
- для розшарування, рівномірного розкидання по поверхні поля валків і раціонального спрямування стебел та рослинних решток в зону різання-подрібнення можна розглядати як варіант встановлення спеціальних робочих органів;
- для раціональної орієнтації рослинних решток конструкція активного робочого органу одночасно з функцією підрізання-подрібнення повинна створювати всмоктувальний повітряний потік.

Найбільш конструктивно простими у виготовленні та експлуатації є подрібнювачі з горизонтальною віссю обертання робочих органів. А особливо ті, що мають у якості робочого органу барабан (циліндр) з ножами. Цей тип ПРР в нашій країні представлено фірмою «DAL-BO» (СС-Канада-США), Metalurgiscascarabelot

(Бразилія), Rite Way Mfg. Co. Ltd (Канада) та багатьма іншими. Але й вони потребують глибокого аналізу і удосконалення:

- для досягнення максимального використання власної ваги ПРР з горизонтальною віссю обертання з активними робочими органами без приводу конструкція рами, зчипки та транспортних коліс повинна мати необхідні механізми, які дозволять спрямувати результуючу силу ваги на те лезо ножа, що виконує різання;
- встановити раціональну схему розташування, кількість та орієнтацію ножів на барабані;
- особливої уваги потребує встановлення раціональних параметрів леза ножа, що дозволить використовувати принцип «самозагострення» з урахуванням фізико-механічних властивостей частинок ґрунту і рослинних решток при їх взаємодії;
- введення в конструкцію котка елементів орієнтації рослинних решток в просторі з метою підвищення рівномірності та якості подрібнення.

Суттєвий внесок у дослідження процесу перерізування стебел рослин лезом ножа внесли В.П. Горячкін, М.М. Летошнев, Є.М. Гутьяр, Г.А. Хайліс, Є.С. Босой, В.А. Резчиков, М.Є. Резнік, Я.С. Гуков, П.В. Сисолін, М.К. Лінник але ці дослідження зроблено переважно для соломорізок, косарок, жниварок або фрезерних ґрунтообробних органів. Говоров О.Ф. [3] спробував визначити енергію, що передається від ножа до стеблини лише для подрібнювачів рослинних решток з вертикальною віссю обертання.

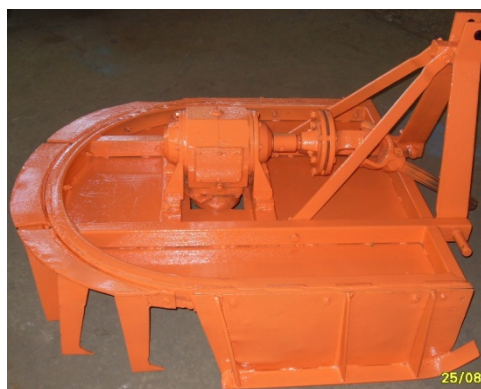
Відомі дослідження науковців Національної лабораторії ґрунту університету штату Алабама (США) D.L Ashford, Andrew J. Price, Ted S. Kornecki, Landy R. Raper [4-5]. Основний напрям їх досліджень направлений на оптимізацію параметрів котків-подрібнювачів та технології (агростроків) щодо їх використання. Але теоретичні напрацювання, щодо визначення конструктивних параметрів, енергетичних витрат машинами даного типу відсутні.

Основний недолік існуючих конструкцій подрібнювачів є неможливість подрібнення рослинних решток при їх розташуванні паралельному вісі обертання ножів робочих органів.

Науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування розроблено конструкції подрібнювачів рослинних решток (рис. 1-2), які мають додатковий пасивний робочий орган – граблину. Встановлення граблін попереду робочих органів з ножами дозволить спрямувати стебла для подальшого подрібнення.



а



б

а – коток-подрібнювач КП-4,5; б – подрібнювач рослинних решток ПН-1,5

Рисунок 1 – Подрібнювачі рослинних решток розроблені науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ

На нашу думку наукові дослідження необхідно спрямувати на розробку нових та удосконалення відомих конструкцій подрібнювачів рослинних решток адаптованих до умов виробництва, як і обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів їх робочих органів є цілком актуальними [6-7].

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у визначенні впливу використання граблин на якість виконання процесу подрібнення рослинних решток робочими органами.

Завдання дослідження: експериментально дослідити вплив використання граблин перед робочими органами на якість виконання процесу подрібнення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес подрібнення рослинних решток технічними засобами. Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів і режимів роботи подрібнювачів рослинних решток на якісні показники.

Дослідження проводили на двох типах подрібнювачах: з приводними робочими органами (ножами) та на безприводному (коток-подрібнювач).

**Виклад основного матеріалу.** Для встановлення перспективних шляхів удосконалення конструкції даних машин необхідно мати інформацію про основні особливості і закономірності протікання процесу подрібнення. До групи даних факторів, на наш погляд, можна віднести:

- орієнтацію в просторі стеблостою, що підлягає подрібненню;
- поступальна швидкість агрегату;
- використання додаткових робочих органів.

Для перевірки процесу роботи подрібнювача при наявності впливу фактора розташування стебел сояшнику були вибрані і попередньо очищені від зайвих решток рядки. Стебла сояшнику штучно були орієнтовані в просторі під різними кутами нахилу до горизонту як за (+30°, +60°), так і проти напрямку руху агрегату (-30°, -60°), а також враховувалася з прямостоячими стеблами - (90°) та самий негативний випадок - лежачі стебла (0°). За показник якості був прийнятий відсотковий вміст в загальному об'ємі подрібнених стебел рослинних решток розмірами < 100 мм. Попередньо була визначена маса стебла та підраховано кількість стебел сояшнику у рядку. При визначенні маси стебел враховувалась їх вологість, розміри [7-8].

Вплив взаємного розташування ножів роторів і стебел в момент їх контакту на якість подрібнення перевірявся по двох варіантах: при співпаданні вісі ротора з віссю рядка та розташуванні вісі ротора по середині міжряддя. Аналіз результатів свідчить про те, що різниця між значеннями якісних показників при різному взаємному розташуванні ножів роторів і рядків стебел в момент їх контакту незначна і знаходиться в межах статистичної похибки. Отже приділяти особливу увагу узгодженню положення і кількості робочих органів відносно поздовжньої вісі рядків не варто. Для котка-подрібнювача цей фактор не є впливовим із-за того, що подрібнення відбувається в результаті перебивання решток ножами після притискання їх до ґрунту.

А от орієнтація стебел в просторі має досить стабільний і вагомий вплив на якість подрібнення. Причому зі збільшенням кута нахилу стебел за напрямом руху агрегату показник якості зростає на 7...8%. Причиною цього може бути попередній жорсткий контакт стебел об рамну конструкцію подрібнювача, зламування їх і відкидання на поверхню поля в зону недосяжності ножів. В даному випадку стебла просто не потрапляють в умовну камеру подрібнення [7] або під барабани з ножами котка-подрібнювача [8].

Використання додаткових робочих органів – граблин при всіх варіантах розташування стебел в просторі забезпечує незначне, але стабільне підвищення показника подрібнення (2...3%). Більш вагомий ефект від їх використання (до 5%)

спостерігається при подрібненні лежачих стебел. При цьому показник подрібнення значно менше залежить від поступальної швидкості агрегату. За таких умов робоча швидкість може бути збільшена майже на 1 м/с., що є вагомим фактором для підвищення загальної продуктивності машини [7].

Встановлення граблин попереду барабану з ножами дозволяє обернути стебла таким чином, щоб зменшити поперечний перетин перерізу стебла. Аналіз відеофіксації процесу подрібнення показує, що граблини орієнтують стебла під кутами  $82^\circ \dots 102^\circ$  до осі обертання барабану з ножами. Показник подрібнення збільшується на 6-7% при швидкостях руху агрегату 22-24 км/год на таких культурах як соняшник та кукурудза [8-9].

Згідно з вимогами до виконання технологічного процесу подрібнення, запропонованими ННЦ "ІМЕСГ" УААН, розміри рослинних решток не повинні перевищувати 200 мм. За даним показником майже 100% подрібнених рослинних решток не перевищують заданого граничного значення завдяки використанню граблин.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що за якісним показником виконання технологічного процесу запропоновані зміни до конструкцій подрібнювачів є цілком працездатні і придатні до широкого використання за певних ґрунтових та кліматичних умов. Одним із шляхів покращення показника подрібнення рослинних решток може бути введення до відомої конструкції машини додаткових робочих органів. Разом з тим забезпечення високої ефективності їх роботи потребує теоретичного обґрунтування їх раціональних конструктивних та технологічних параметрів.

## Список літератури

1. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК. – Дослідницьке: УКРНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
2. Богатирьов Д.В. Обґрунтування перспективних напрямів конструкцій подрібнювачів рослинних решток. / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, В.І. Носуленко, Д.В. Мартиненко // [Електронний ресурс] Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 42. – С. 39-44. (Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_42\\_1/](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_42_1/))
3. Говоров О.Ф. Машини для скошування і подрібнення рослин або їх решток і розподілення частинок по поверхні ґрунту / О.Ф. Говоров, Я.С. Гуков, В.К. Мойсеєнко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2010. – Вип. 94. – С. 29-48.
4. Ashford D.L. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crop / Ashford D.L., D.W. Reeves // American Journal of Alternative Agriculture – 2003. – 18(1) – P.37-45.
5. Korniecki T.S. Performance of Different Roller Designs in terminating rye cover crop and reducing vibration / [Текст] T.S. Korniecki, A.J. Price // Applied Eng. Agric – Alabama, USA – 22(5) – P.633-641.
6. Сало В.М. Технічне забезпечення процесів подрібнення рослинних решток / [Електронний ресурс] В.М. Сало, Д.В. Богатирьов // Журнал «Пропозиція». – 2015. – №9 С.42-47. (Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=5026&number=171> )
7. Сало В.М. Обґрунтування основ для моделювання процесу подрібнення рослинних решток / [Електронний ресурс] В.М. Сало, І.О. Уманець., І.М. Семеняка, О.М. Гайденок // Праці ТДАТУ. – 2010. – Вип. 10, Т.8. – С.105-110. (Режим доступу: [http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/10-8/10\\_8/15.pdf](http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/10-8/10_8/15.pdf))
8. Богатирьов Д.В. Аналіз господарських випробувань котка-подрібнювача рослинних решток соняшника / [Електронний ресурс] Д.В. Богатирьов, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 12-17. (Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_43\\_1/](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_43_1/) )
9. Богатирьов Д.В. Експериментальні дослідження впливу швидкості руху котка-подрібнювача на якість подрібнення рослинних решток кукурудзи / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок // [Електронний ресурс] Сільськогосподарські машини. – Луцьк, 2015. – Вип.31.– С. 10-17. (Режим доступу: <http://agrmash.info/zb/31/4.pdf> )

**Dmitriy Bohatyrov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Salo, Prof., DSc., Oleg Kuslyn, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Perspective directions of improving the design of means for crushing plant residues**

Worldwide production trend of environmentally friendly crop production leads to the search for new technologies for growing crops and developing the necessary technology. The need for fertilizers feed plants are always topical issue, but man-made pollution fertilizers fertile soil affects the quality of agricultural products, which can lead to increased morbidity. The widespread use of pesticides has created specific problems related to the acquisition of weeds, pests and pathogens resistance to them. Our country is not enough attention paid to the established type of agricultural machinery, whose work would be aimed at improving topsoil naturally, that is - the creation of the ground layer of crushed plant residues with partial wrapping them. Such a layer of crushed stems (plant residues) will naturally maintain soil micro flora and will not only maintain but also increase over time humus content.

Reproduced the direction of development and improving agricultural machines for crushing plant in Ukraine remains a new and very important. The analysis of the results of field tests of two types Choppers residues domestic production. The main indicator of the type of machines chosen aspect ratio remains after crushing the stems, depending on the use of guides. One way to improve the quality of grinding is an extra passive working body - guides for orientation stems perpendicular edges of working blades shredder. The results of the tests show the feasibility of using guides for this type of agricultural machinery.

One way of improving your grinding plant residues can be input to the famous design of additional working machines. However, providing high efficiency of their work requires theoretical justification of rational design and process parameters.

**crusher, crimper, stems, length, plant remains, guide**

Одержано 26.01.16

**УДК 631.354.633.1**

**Д. А. Дерев'янку, доц., канд. с.-г. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м.Житомир, Україна*

*E-mail: aulin52@mail.ru*

## **Дослідження травмування насіння робочими елементами протруювача при проходженні технологічного процесу**

При проходженні технологічного процесу протруювання насіння зернових культур перед сівбою, на травмування зернівок впливають робочі елементи похилого, горизонтального та вертикального гвинтових шнеків, а також камера змішування протруювача.

На травмування зернівок впливають такі фактори як кут нахилу спіралі гвинта, швидкість руху, заповнення, зворотне зсипання, затиснення, притиснення, защемлення, оберти гвинта, відцентрова сила змішувача, радіус польоту, висота падання, тяжіння та час знаходження зернівок під дією цих чинників.

При потраплянні насіння у камеру змішування протруювача на зернівки діє відцентрова сила, маса, удари з поверхнею змішувача, сили руху опору, швидкості обертання, що безумовно впливає на травмування насіння.

На різних стадіях технологічного процесу протруювання відбувається травмування насіння, але більше при транспортуванні шнековими транспортерами і в камері змішування.

**травмування, оберти, відцентрова сила, ударяння, зернівка**

© Д. А. Дерев'янку, 2016

Д. А. Дерев'янюк, доц., канд. с.-х. наук

Житомирський національний агрозоологічний університет, г. Житомир, Україна

### Исследование травмирования семян рабочими элементами протравливателя при прохождении технологического процесса

При прохождении технологического процесса протравливания семян зерновых культур перед посевом на травмирование зерновок влияют рабочие элементы наклонного, горизонтального и вертикального спиральных шнеков, а также камеры смешивания технического средства.

На травмирование зерновок влияют такие факторы, как угол наклона спирали шнека, скорость движения, заполнение, обратная сыпь, сжимание, притиснение, защемление, обороты шнека, центробежная сила в камере, смешивание, радиус перемещения, высота падения, тяжесть и время нахождения зерновок под действием этих факторов.

При поступлении семян в камеру смешивания машины на зерновки действуют центробежная сила соударения с поверхностями, силы движения, сопротивления, трение, скорости вращения, что безусловно влияет на травмирование семян.

**травмирование, обороты, центробежная сила, ударение, зерновки**

**Постановка проблеми.** Відомо, що озима пшениця, жито та інші дуже важливі цінні зернові культури, що займають великі площі посіву і відіграють велику роль насамперед у продовольчій безпеці, тому виникає нагальна потреба у високоякісному насінні.

Упродовж багатьох десятиріч, а особливо у другій половині попереднього століття науковці-дослідники, селекціонери та виробники довели і обґрунтували, що тільки високоякісне насіння за всіх інших однакових можливостей забезпечує формування значної частини майбутнього врожаю.

Поряд з цим важливим є той факт, що існує до певної міри відставання із удосконаленням, виробництвом і запровадженням новітніх технічних засобів та технологій збирання, післязбирального дороблення зернового вороху, підготовки, транспортування, завантаження, протруювання насіння та сівби.

Дослідження показують, що вдосконалення впливу робочих елементів технічних засобів при технологічних процесах на зниження травмування зерновок, сприяє суттєвому покращенню якісних показників насіння та зростанню урожайності зернових культур.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Травмування, пошкодження і повне руйнування зерновок є наслідком впливу механічних навантажень багатьох елементів технологічного процесу, зокрема жнивarki, молотильний барабан, решітний стан, скребкові, шнекові, смугові, ковшові транспортери, інші механізми післязбирального оброблення зернового вороху, підготовки насіння, транспортувальні та завантажувальні засоби, а також технічні засоби протруювання і сівби.

Дослідження І.Г. Строни, О.П.Тарасенка, В.І.Оробінського, П.М.Пугачова, С.А.Чазова [6,8] та ін. свідчать, що травмування зерновок під час обмолочування сягає 20% і більше, а при доробленні зернового вороху і підготовленні насіння та сівби їх кількість значно зростає.

Травмування зерновок, а потім їх руйнування відбувається коли максимальне напруження  $\sigma$  менше від напруження, яке виникло внаслідок дії механічних або інших впливів, тобто для протікання такого пошкодження, необхідна умова  $\sigma \leq \dots$ .

За даними В.М.Дрінча [3] травмування зерновок під час обмолочування інколи сягає 30–35%, а за підготовки насіння навіть більше 50%, залежно від вологості та структури зернового вороху. При вологості 14–16% гранична величина удару, при якому проявляються зовнішні ознаки травмування, знаходиться в межах 0.11–0.16 Дж, що знижує польову схожість більше 20%.

Протягом останніх років значну роботу проведено Л.В.Фадєєвим [9] з розроблення та впровадження у виробництво принципово нових очисно-калібрувальних технічних засобів і технічних ліній.

У створенні фундаменту наукових основ теорії взаємовпливу робочих поверхонь механізмів та різних матеріалів, в тому числі зернової маси, значний внесок зробили такі визначні вчені, як П.М.Василенко, Л.В.Погорілий, В.П.Горячкін, В.М. Дринча, В.В.Адамчук, Л.М.Тіщенко, О.П.Тарасенко, П.М.Заїка, Б.І.Котов, І.Г.Строна, О.М.Пугачов та ін. [1,2,3,5,6,7].

Таким чином, аналіз впливу технічних засобів на травмування і якість зернівок та застосування новітніх технологій оброблення зернового вороху і підготовки високоякісного насіння показує, що головними факторами розвитку систем є глибоке і всебічне вивчення фізико–механічних і біологічних особливостей насіння і розроблення нових технологій та модернізацію робочих органів, що забезпечуватимуть мінімальну кількість травмування зернівок, максимальне отримання біологічно цінного високоякісного насіння відповідно агротехнічних вимог і державних стандартів.

**Постановка завдання.** Виявити вплив травмування зернівок під час збирання, післязбирального оброблення зернового вороху і підготовки насіння на якісні його показники, дослідити ефективність післязбирального підготовки високої якості насіння озимої пшениці та жита при різних технологічних процесах, у відмінних ґрунтово–кліматичних умовах і запропонувати шляхи зниження травмування насіння та пошкодження його мікроорганізмами, як одного з головних резервів підвищення урожайності зернових культур.

**Методи досліджень.** Використано метод математичного моделювання роботи машин, робочих елементів і технологічних процесів.

Застосовано розрахункові диференціальні рівняння, перетворення та графічні визначення на основі використання законів механіки.

Експериментальні, виробничі та лабораторні дослідження проводилися у виробничих умовах різних ґрунтово–кліматичних зон та державних лабораторіях насінневих станцій, хлібокомбінату і вищих учбових закладів з використанням натурних зразків, технічних засобів, приладів та знарядь згідно з наявними державними стандартними методиками.

**Результати досліджень.** Для продуктивного завантаження та мінімального травмування насіння вертикальним шнеком необхідно також обґрунтувати кут нахилення бокових стінок накопичувального бункера, звідки подаватиметься насіння для протруєння у змішувач. На величину цього кута впливатиме не тільки сила тертя зернівок з стінками бункера,  $F_{тр}$ , але й відцентрова сила  $F_{вц}$ , що діє на насіння при обертанні шнека, рис.1.

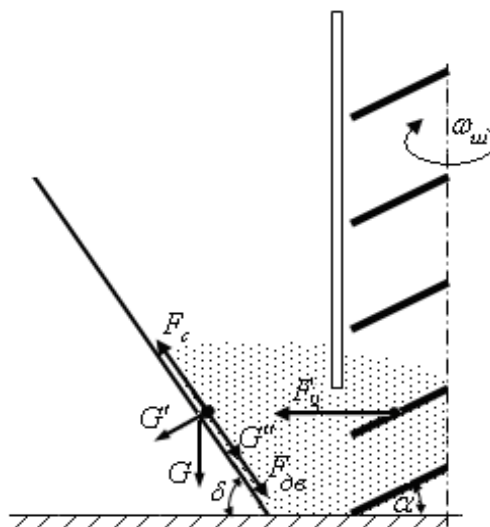


Рисунок 1 – Схема сил, що діють на насіння біля внутрішніх стінок бункера накопичення

Для визначення кута нахилення бокових стінок отримали вираз

$$\delta' > \arctg \left( \frac{\omega_u^2 R + g \cdot f_c}{g - \omega_u^2 R \cdot f_c} \right),$$

де  $f_c$  – коефіцієнт тертя зернівок з внутрішніми стінками накопичувачів насіння.

Розрахунки показують, що якщо шнек не працює  $\omega_u = 0$ ,  $F_{\text{вн}} = 0$ , то кут нахилення стінок  $\delta$  має невеликі числові значення, а коли діють відцентрові сили, то кут  $\delta'$  суттєво збільшується у порівнянні до  $\delta$ , що відповідає умовам завантаження та його впливу на травмування насіння.

При надходженні на диск камери змішування протруювача насіння, зернівкам надається центростреміке прискорення, відповідно на них діятиме відцентрова сила  $F$ . При здійсненні диском обертального руху, такі зернівки переміщуються під дією сили  $F$  до краю диска при сходженні з якого вони в переважній більшості відокремлюючись одне від одного вдаряються з внутрішньою стінкою корпусу камери змішування, отримуючи певні травми.

Якщо не враховувати співударання між собою при паданні з диска, в зв'язку врахування наявності протруйника і вологи, тобто пружно-в'язкої маси, то прискорення з яким вони летітимуть до стінки протруювача буде рівнятися

$$a_n = \omega^2 R, \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість диска, об/с;

$R$  – радіус диска.

Тоді сила співударання насіння з корпусом змішувача становитиме;

$$F = m \cdot a_n, \quad (2)$$

де  $m$  – маса насіння.

В такому випадку будуємо рівняння руху насіння, яке буде виглядати таким чином

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F \left( t, x(t), y(t), z(t), \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right), \quad (3)$$

де  $F$  – сила, що викликає прискорення зернівок масою  $m$ .

Математична модель руху насіння при сходженні з диска камери протруювача отримана на основі рівнянь Лагранжа II-го роду і матиме вигляд:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_p - F_0, \quad (4)$$

де  $F_p, F_0$  – сили руху і опору, що діють на насіння.

Силою руху буде

$$F_p = \frac{M}{2R}, \quad (5)$$

де  $M$  – момент на валу двигуна;

$R$  – радіус диска.

Під впливом сили  $F_p$  відбувається травмування насіння, тому зменшення її та збільшення сили опору буде головним фактором зниження травмування зернівок при протруюванні у камері змішувача, рис.2.

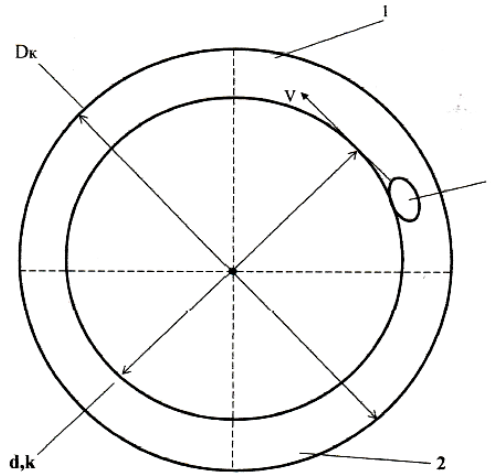
При сходженні насіння з диску камери змішування протруювача, який обертається зі швидкістю  $\omega d = 60 \text{ об/хв}$ , можливе зіткнення зернівок з внутрішньою частиною. Сила, з якою насіння вдаряється з стінкою буде:

$$F = m \cdot V / \Delta t, \quad (6)$$

де  $m$  – маса насіння;

$V$  – лінійна швидкість при сходженні з диску;

$\Delta t$  – час, за який зернівка досягає стінки камери.



1 – камера протруювача; 2 – рухомий диск; 3 – насіння

Рисунок 2 – Схема дії сили на зернівку в камері протруювача

$$\Delta t = (Dk - dk) / V$$

Загальний вигляд рівняння руху зернівки буде таким:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= F_x \left( t, x(t), y(t), z(t), \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right); \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= F_y \left( t, x(t), y(t), z(t), \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right); \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} &= F_z \left( t, x(t), y(t), z(t), \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $F_x, F_y, F_z$  – проекції на відповідні вісі сили, що викликають прискорення насіння масою  $m$ .

Математична модель руху зернівки у міжлопатевому просторі камери протруювача при змішуванні отримана на основі рівняння Лагранжа II-го роду і матиме вигляд:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} &= F_{dx} - F_{cx}; \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} &= F_{dy} - F_{cy}; \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} &= F_{dz} - F_{cz}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $F_{dx}, F_{dy}, F_{dz}, F_{cx}, F_{cy}, F_{cz}$  – проекції на відповідні вісі рухомих сил та сил опору, що діють на насіння.

Ці сили виникають у камері протруювача при проходженні технологічного процесу зходження насіння з диска і його падіння з висоти  $h_1$ , яка дорівнює віддалі від диска до дна камери, або до вивантажувального шнека.

$$F = mgh_1. \quad (9)$$

При падінні на нахилену під кутом  $\alpha$  площину сила матиме вигляд

$$F = F_x + F_y = F_{\cos\alpha} + F_{\sin\alpha}. \quad (10)$$

У відповідності протікання процесу протруювання насіння, рух пружно-в'язкої, зволоженої насінневої маси у камері змішування проходить у вигляді стохастичних рухів блоків, а зернівка матиме пружні, пластичні та в'язкі особливості. Розглядаючи напружено-деформуючий стан такого тіла, запишемо рівняння рівноваги, які повинні зберігатися

$$\begin{aligned} \frac{\partial\sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial z} + F_x &= 0; \\ \frac{\partial\sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial z} + F_y &= 0; \\ \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y} + F_z &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $F_x, F_y, F_z$  – складові зовнішніх сил, що діють на кожну зернівку в технологічному процесі.

Враховуючи умови сукупності для однозначного визначення складових напруження окремої зернівки необхідні наступні рівняння

$$\begin{aligned} \nabla^2\sigma_x + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} &= \frac{-\nu}{1-\nu}\left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right) - 2\frac{\partial F_x}{\partial x}; \\ \nabla^2\sigma_y + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} &= \frac{-\nu}{1-\nu}\left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right) - 2\frac{\partial F_y}{\partial y}; \\ \nabla^2\sigma_z + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} &= \frac{-\nu}{1-\nu}\left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right) - 2\frac{\partial F_z}{\partial z}; \\ \nabla^2\tau_{yz} + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial y\partial z} &= -\left(\frac{\partial F_z}{\partial y} + \frac{\partial F_y}{\partial z}\right); \\ \nabla^2\tau_{xz} + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial x\partial z} &= -\left(\frac{\partial F_z}{\partial x} + \frac{\partial F_x}{\partial z}\right); \\ \nabla^2\tau_{xy} + \frac{1}{1+\nu}\frac{\partial^2\theta}{\partial x\partial y} &= -\left(\frac{\partial F_y}{\partial x} + \frac{\partial F_x}{\partial y}\right); \\ \nabla^2 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (12)$$

де  $\theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ ,  $\nu$  – коефіцієнт Пуасона для насіння кожної культури в зв'язку з різними внутрішніми та зовнішніми відмінностями.

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – нормальні складові напруження, паралельні вісям X, Y, Z.

$\tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}$  – складові дотичного напруження у прямокутних координатах.

**Висновки.** При проходженні технологічного процесу протруювання насіння перед сівбою на травмування зернівок впливають робочі елементи похилого, горизонтального і вертикального похилих шнеків, а також камера змішування протруювача.

Розглядається конкретний вплив на травмування зернівок кут  $\alpha$  нахилу спіралі гвинта, зусилля притискання зернівок до корпусу - жолоба, критичну частоту обертів гвинта, дії відцентрової сили при надходженні насіння на диск розподільника камери змішувача, відцентрову силу, тяжіння та висоту падання і час знаходження зернівок під впливом цих дій.

При надходженні насіння в камеру змішування протруювача, зернівки отримують центростремічне прискорення, що залежить від відцентрової сили, радіусу польоту, маси, тяжіння, висоти подання, співударання з внутрішніми поверхнями камери, сил руху, опору та швидкості обертання.

## Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М.Василенко. – К: УАСХ, 1960. – 284 с.
2. Горячкин В.П. Собр.соч.: Т. IV- VI. – М.:Колос, 1965.
3. Дринча В.М. Исследования сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки/ В.М. Дринча. – Воронеж, 2006. – 382 с.
4. Котов Б.І. Теоретичне Обґрунтування руху частинки зерна на вібропневморешеті при дії розпушуючих робочих органів / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, Р.А. Калініченко // Наук. вісн. НАУ. – 2007. – Вип. 115. – С.112-117.
5. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений / В.В. Адамчук – К.: Аграр.наука, 2010. – 177 с.
6. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж, 2003. – 301 с.
7. Тищенко Л.Н. Виброрешетная сепарация зерновых смесей/ Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Х.: Миськдрук, 2011. –280 с.
8. Чазов С.А. О мерах снижения травмирования семян / С.А. Чазов// Селекция и семеноводство. – 1964. –№ 4. С. 30–32.
9. Фадеев Л.В. Линия очищающее – калибрующих машин /Л.В. Фадеев // Насінництво. – 2011. – №3. – С. 22-27.
10. Uhe J.B. Pneumatik separation of grain and straw mixtures / J.B. Uhe, B.J. Lamp // Transaction of the ASAE. – 1966. – V.9. –P. 244–246.
11. Zoltzman A. Separating flower bulbs and stones in fluidized bed/A. Zoltzman, Z. Schmilovitch, A. Mizrach. Agricultural Engineerin. –1985. –V. 237, №2. – P. 63-67.

### **Dmitro Derevyanko, Assos. Prof., PhD agr. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

#### **Research work injury seed dressers elements during the passage of the process**

The research of the seeds damaging caused by the working parts of the machine for dipping during the technological process.

During the technological process of the grain seeds dipping before sowing, the weevils damaging is affected by the working parts of the inclined, horizontal and vertical spiral augers as well as by the chamber for mordant mixing.

The weevils damaging is affected by the slope angle of the auger spiral, the motion speed, the filling-in speed, the reverse emptying, pressing, compressing, screw rotation, centrifugal force in the mixing chamber, the flight radius, the dropping height, gravity as well as by the period of time during which the weevils are under these factors.

When the seeds get into the mixing chamber of a machine for dipping, the weevils get under the effects of a centrifugal force, mass, striking against the chamber walls, motion force, resistance, rotation speed damaging.

**damaging, rotation, centrifugal force, striking, weevils**

Одержано 16.03.16

УДК 629.083

**А.В. Гриньків, асп.***Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: grinkivav@mail.ru*

## Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів

Проаналізовано існуючі методи прогнозування технічного стану транспортних засобів та дано їх класифікацію у вигляді узагальненої структурної схеми. Наведено стандартні математичні функції для здійснення процесу прогнозування діагностичних параметрів під час експлуатації транспортних засобів. А також запропоновано прогнозні функції надійності, агрегатів та систем транспортних засобів, алгоритм оцінки придатності зазначених моделей та їх аналітичні естиматії.

**прогнозні моделі, естиматія, методи прогнозування, класифікація****А. В. Гриньків, асп.***Кіровоградский национальный технический университет, г.Кіровоград, Украина***Использование методов прогнозирования в управлении технических состояний агрегатов и систем транспортных средств**

Проанализированы существующие методы прогнозирования технического состояния транспортных средств и дана их классификация в виде обобщенной структурной схемы. Приведены стандартные математические функции для осуществления процесса прогнозирования диагностических параметров во время эксплуатации транспортных средств. А также предложены прогнозные функции надежности, агрегатов и систем транспортных средств, алгоритм оценки пригодности отмеченных моделей и их аналитические естимаций.

**прогнозные модели, естиматия, методы прогнозирования, классификация**

**Вступ.** Транспортні засоби в сільськогосподарському виробництві посідають провідне місце у перевезенні продукції, й мають максимальну завантаженість в експлуатації. Для ефективної їх роботи необхідно постійно модернізувати конструктивно та використовувати нові технологічні методи і підходи вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) транспортних засобів (ТЗ). Модернізація ТЗ, на теперішній час, полягає у широкомасштабному використанні електронних систем, які контролюють різноманітні процеси, що протікають під час виконання поставлених завдань перед ТЗ, оптимізують та планують їх роботу, а також створюють умови для проведення моніторингу технічного стану. При цьому важливим завданням є оптимізація та обґрунтування комплексу технічних дій для поліпшення ТО або Р й забезпечення високого коефіцієнту технічної готовності ТЗ в експлуатації.

**Постановка проблеми.** Використання ТЗ в нестационарних умовах експлуатації спричиняє різний характер процесів зношування деталей та їх спряжень, а також швидкості настання непрацездатного стану, тому необхідно постійно контролювати фактичний стан ТЗ, а в разі настання передграничного стану, проводити тільки необхідні технічні дії з обслуговування, щоб забезпечити належний працездатний стан. Дана інтерпретація можлива лише за рахунок моніторингу технічного стану ТЗ, який ґрунтується на обробці апріорної інформації, діагностиці (безперервної або періодичної) та прогнозуванні технічного стану. В зв'язку з цим основною проблемою,

яка стоїть на даний час перед науковцями, що займаються питаннями експлуатації ТЗ – це узагальнення та удосконалення методів прогнозування технічного стану ТЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Експлуатацію сучасних ТЗ доцільно розглядати як складну динамічну систему, функціонування якої відбувається при дії різних випадкових факторів як зі сторони зовнішнього середовища, так і при дії внутрішніх процесів в їх агрегатах та системах. Виявлено, що зовнішнє середовище може вносити невизначеність та випадковість вихідних даних і ситуацій, та випадковим чином змінювати характер взаємодії між складовими частинами агрегатів та систем ТЗ. В таких динамічних системах можуть виникнути випадкові збурення, що являють собою помилки вимірювання діагностичних параметрів та похибки при перетворенні інформації, дії різного роду перешкод, внаслідок появи неврахованих, але об'єктивно діючих причин.

Ефективність функціонування ТЗ, як технічної системи залежить від його технічного стану. Якщо в процесі експлуатації вчасно не виконувати спеціальні технічні дії, то технічний стан може критично погіршитись. В зв'язку з цим впливає проблема керування технічним станом ТЗ в експлуатації та при прогнозуванні. Розв'язанню цієї проблеми присвячені роботи Барзиловича Є.Ю. [1], Міхліна В.М. [2], Полянського А.С [3], Бажинова А.В. [4], Волкова В.П. [5], Кравченка О.П. [6], Сухарева Є.А. [7], Ауліна В.В. [8,9] і т.ін.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є аналіз методів прогнозування, які можна використати підчас процесу прогнозування технічного стану систем та агрегатів ТЗ, визначити перелік стандартних функцій, які необхідно використовувати при прогнозуванні значень діагностичних параметрів, для зменшення трудомісткості прогнозного процесу. При більш повному вирішенні проблеми прогнозування необхідно також встановити функції, що забезпечуватимуть придатність та точність прогнозних моделей надійності агрегатів та систем ТЗ.

**Виклад основного матеріалу.** Виявлено, що інтегральним елементом процесу діагностування стану ТЗ є його прогнозування. Тому визначаючи поточний стан ТЗ, необхідно передбачати визначення таких змін параметрів й спрогнозувати їх в подальшій експлуатації. Якість прогнозування стану ТЗ визначається передусім методами прогнозування.

Аналіз методів прогнозування технічного стану агрегатів і систем ТЗ свідчить, що вони передбачають дві основні цілі:

- забезпечення процесу вивчення і аналізу методів;
- організації процесу вибору методу при розробці прогнозів об'єкта досліджень;

При проведенні класифікації методів прогнозування та побудови їх структурної схеми враховували, що існують два основних типів класифікації: послідовна та паралельна. Послідовна класифікація передбачає виокремлення частиних методів із більш загальних. Цей процес тотожній поділу родового поняття на видові. При цьому необхідно додержуватися наступних правил:

- причина для поділу повинна залишатися однією і тією, що і при утворенні будь-якого видового поняття;
- об'єм видових понять виключати один одного (відсутній перетин класів);
- об'єм видових понять повинні вичерпувати об'єм родового поняття (повне охоплення усіх об'єктів класифікації).

Паралельна класифікація передбачає складну інформаційну основу, що складається не з одного, а цілого ряду ознак. Основним принципом такої класифікації є

незалежність вибраних ознак, кожна з яких істотна і усі вони разом одночасно властиві предмету і тільки така їх сукупність дає вичерпне уявлення про кожний клас.

Представлена на рис. 1 класифікація методів прогнозування є класифікацією послідовного типу, що має на меті уявлення у вигляді ієрархічного дерева сукупності методів як деякої системи. Кожний рівень класифікації характеризується своєю ознакою. Елементи кожного рівня являють собою найменування підмножин елементів найближчого нижнього рівня, причому підмножини методів не перетинаються. Для елементів нижнього рівня характерним є найменування вузьких груп конкретних методів прогнозування, які є модифікаціями або різновидами будь-якого одного, найбільш загального з них.

Наведена класифікація методів прогнозування (рис. 1) є відкритою і містить можливість збільшення кількості елементів на рівнях і нарощування кількості рівнів за рахунок подальшого подрібнення й уточнення елементів останнього рівня. На першому рівні всі методи поділяються на класи за ознакою "інформаційна база методу": методи експертних оцінок; статистичні методи; методи моделювання (математичні, фізичні, фізико-математичні).



Рисунок 1 – Класифікація методів прогнозування діагностичних параметрів технічного стану та показників надійності агрегатів і систем ТЗ

Експертні методи, в свою чергу, поділяються на два підкласи: прямі і зі зворотнім зв'язком. Прямі експертні оцінки базуються по принципу отримання та обробки незалежної узагальненої думки колективу експертів при відсутності впливу на думку кожного з них думок іншого, а також вплив їх колективу. До опитування відносяться методи індивідуальних та сумарних оцінок, а до аналізу – методи: формування сценарію розвитку, еволюційно-логістичного аналізу, узгодженої оцінки, морфологічного аналізу, визначення моделі стану. Експертні оцінки зі зворотнім

зв'язком в різному вигляді втілюють принцип зворотнього зв'язку шляхом впливу на оцінку експертної групи (одного експерта) отриманої раніше від цієї групи або від одного із її експертів. Ці методи поділяються на методи ігрових моделей, генерації ідей та методи опитування. Методи ігрових моделей містять методи динамічного концептуального та економічного аналізів. Методи генерації ідей складають методи колективної генерації ідей, деструктивної відносної оцінки. Методи опитування включають метод Делфі та евристичний метод.

Статистичні методи об'єднує сукупність методів обробки кількісної інформації про об'єкт прогнозування по принципу виявлення математичних закономірностей розвитку та математичних взаємозв'язків з метою отримання прогнозних моделей. Статистичні методи можна поділити на підкласи: методи екстраполяції та інтерполяції, методи регресійно (трендово) - кореляційного аналізу, методи факторного аналізу.

Методи екстраполяції та інтерполяції складають методи попередньої обробки числового ряду з метою перетворення його до вигляду зручного для прогнозування, а також аналіз логіки та фізики прогнозного процесу, що здійснюють істотний вплив, як на вибір вигляду екстраполяційної функції, так і на визначення границь зміни її параметрів. До них відносяться: методи представлення параметрів діагностування поліномами; методи підбору стандартних функцій; методи дисконтування бази даних, а також методи згладжування функцій з гнучкою структурою та огинаючих кривих.

Методи регресійно (трендово) - кореляційного аналізу практично вирішують поставлену задачу здійснення ряду послідовних етапів: відбір основних факторів (незалежних змінних) системи або її складових елементів; формування необхідної емпіричної (статистичної) бази даних; перевірка емпіричних даних на однорідність статистичної вибірки; обробка бази даних для вибору аналітичної форми зв'язків між факторами; розробка методів та алгоритму прийняття рішень, опис алгоритму у вигляді програми з метою отримання конкретних числових результатів; проведення статистичної оцінки і техніко-економічної інтерпретації побудови математичної моделі. Методи регресійно (трендово) - кореляційного аналізу включають в себе: методи авторегресійних (автотрендових) моделей; методи парних та ступінчастих кореляцій, регресій (трендів); методи множинних регресій (трендів) і кореляцій.

Методи факторного аналізу призначені для прогнозування складних технічних об'єктів. З їх використанням можливо враховувати сукупність різних змінних, що характеризують технічний об'єкт та взаємозв'язки між ними. В процесі дослідження необхідно вибрати або побудувати цільову функцію взаємозв'язку між різними змінними для опису технічного об'єкту та врахувати складність, зменшити трудомісткість аналізу процесу прогнозування. Методи факторного аналізу базуються на методах: компонентного аналізу технічного об'єкту прогнозування, багатфакторних моделей управління об'єктом; екстраполяційних прогнозів факторних структур; усунення мультиколінеарності, гетероскедастичності, автокореляції.

Наступним сучасним методом прогнозування є методи моделювання, які включають достатньо розроблені методи математичного моделювання та фізичні, фізико-математичні методи, що на даний час розроблені не в повній мірі. Широкого поширення в практиці прогнозування набули математичні методи побудови детерміністських та стохастичних моделей. Детерміністські моделі це передусім лінійні та нелінійні одно- та багатфакторні моделі, а також моделі гармонійних та логістичних функцій. Що стосується стохастичних моделей, то на сьогодні широкого поширення в прогнозуванні технічного стану транспортних засобів, їх агрегатів і систем, набули ймовірнісні марківські та немарківські моделі та моделі теорії масового обслуговування.

В математичних методах прогнозування стану машин всі суб'єктивні параметри, що стосуються змінам їх станів, формуються з допомогою математичних моделей. При цьому, під прогнозуванням будемо розуміти визначення майбутніх, у відношенні до поточного часу  $t$  або пробігу ТЗ, значень прогнозованих діагностичних параметрів  $S_p(t_p)$ ,  $t_p > t$ , на основі діагностичної моделі в момент  $t_D$  або пробігу  $L$  та спостережень  $S_0(t_r)$ , виконаних до моменту  $t_r$ ,  $t_r \leq t$ . При цьому різниця часу  $t_p - t$  є випередженням прогнозу, а найбільше випередження прогнозу - це горизонт прогнозу.

При проведенні прогнозування варто звертати увагу на дві його принципові особливості: довгострокове прогнозування пов'язане з впливом часу та процесами еволюції стану машин, а короткострокове - появою підчас діагностування нових факторів, ідентифікація яких має істотне значення підчас вибору прогностичних методів, обумовлюючи використання їх різних конструкцій та конфігурацій.

Реалізація прогнозування підчас діагностування обумовлена процесом ідентифікації тенденції зміни величин контрольованих діагностичних параметрів. Прогностичні формалізації, які можуть бути придатні для діагностичних систем групуються наступним чином [3,4,8]:

- класична екстраполяція величин часового ряду;
- адаптаційні моделі тенденції;
- автономна екстраполяція стохастичних процесів;
- моделі зміни контрольованого динамічного стану, описаного стохастичним диференціальним рівнянням;
- статистичні моделі симптоматичних змін.

При прогнозуванні та моніторингу технічного стану з використанням діагностичної інформації використовуються різні типи діагностичних функцій, що визначають технічний стан агрегатів та систем ТЗ (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи аналітичних діагностичних функцій технічного стану та їх та графічні відображення

Аналітична форма діагностичної функції технічного стану	Лінійна $D(L) = a + bL$	Квадратична $D(L) = a + bL + cL^2$	Кубічна $D(L) = a + bL + cL^2 + dL^3$
Графічне відображення діагностичної функції			
Аналітична форма діагностичної функції технічного стану	Степенева $D(L) = aL^b$	Експоненціальна $D(L) = a \exp(bL)$	Модифікована експоненціальна $D(L) = k - a \exp(bL)$
Графічне відображення діагностичної функції			
Аналітична форма діагностичної функції технічного стану	Логістична (S-подібна) $D(L) = k / (1 + b \exp(-cL))$	Гіперболічна $D(L) = a + b / (c + L)$	Комбінована експоненціально-степенева $D(L) = \exp(aL)L^b$
Графічне відображення діагностичної функції			

Продовження табл.1

Аналітична форма діагностичної функції технічного стану	Гомпертця $D(L) = ka^{bL}$	Квадратично-логістична $D(L) = k^2 / (1 + b \exp(-cL))^2$	Лінійна гармонійна $D(L) = a + bL + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i L + \varphi_i)$
Графічне відображення діагностичної функції			

При практичному використанні методів прогнозування є необхідність в їх оцінці, що проводиться в залежності від збереження тенденції спостережуваного діагностичного параметру [4, 9]. При цьому розрізняють дві ситуації:

- тенденція зміни діагностичного параметру відома або зручна для визначення моделі прогнозування технічного стану агрегату, системи ТЗ;
- тенденція зміни діагностичного параметру невідома або майже невідома для визначення моделі прогнозування технічного стану агрегату, системи ТЗ.

Перша ситуація може бути розв'язана з використанням моделей простих математичних функцій діагностичних параметрів, що змінюються монотонно. До переваг такого підходу необхідно віднести: простоту побудови графічного відображення; відносно низької вартості розрахунків моделі; можливість прогнозування спостереженого діагностичного параметру за 2-3-ма відомими значеннями вимірювального діагностичного параметру. А при цьому обмеження є необхідність утримання тенденції його росту в прогнозований період та обмежене число функцій, що підлягають аналізу.

Друга ситуація розв'язується за допомогою використання ряду моделей:

- адаптаційних, побудованих різними методами, наприклад методом планування нерівностей Броуна, Хольта, Винтерса, Таїль-Ваге, Бахелета-Морлата;
- автономної екстраполяції стохастичних процесів (типу: середньої змінної, авторегресії, авторегресійної середньої змінної, інтегрованої середньої змінної)
- віброакустичних для шумо-коливальних параметрів;
- спостереження за технічним станом (фільтрація Кальмана-Вису);
- статистичних симптоматичних, з урахуванням виду функцій щільності розподілу вимірювальних параметрів (розподіли Вейбулла-Гнеденка, Фрекетта, Паретто).

Кінцевою умовою використання більшості методів прогнозування є рівномірна зміна діагностичних параметрів машин та рівномірний їх розподіл за часом вимірювання як у ретроспективному  $t_r$ , так і у прогнозованому  $t_{pr}$  часі.

Дослідженнями вибірових методів прогнозування стану агрегатів та систем ТЗ визначено оцінку щодо придатності їх в практичному використанні:

- для лінійної моделі:

$$P_s[(n+1), t_D] = P_s(n, t_D) + \lambda_L \cdot t_D, \quad (1)$$

де  $P_s[(n+1), t_D]$  – прогнозна ймовірність технічного стану агрегату, системи ТЗ

S на один період вперед;

$\lambda_L$  – інтенсивність відмов;

$t_D$  – проміжок часу між діагностуваннями;

$n$  – номер спостережень;

- для квадратичної моделі:

$$P_S[(n+1), t_D] = P_S(n, t_D) + \lambda_k \cdot t_D + \beta_k (2 \cdot n + 1) t_D^2, \quad (2)$$

де  $\lambda_k, \beta_k$  – параметри моделі зміни;

- для експоненціальної моделі:

$$P[(n+1), t_D] = P_S(n, t_D) \exp(\lambda_k \cdot t_D); \quad (3)$$

- для квадратично-експоненціальної моделі:

$$P_S[(n+1), t_D] = P_S(n, t_D) \exp(\lambda_k \cdot (2 \cdot n + 1) t_D^2). \quad (4)$$

Визначено, що експоненціальна модель дає оптимальні прогностичні властивості як у відношенні до величини діагностичних параметрів, так і часу аварії ТЗ, а простота реалізації дає можливість ефективно використовувати її на практиці.

Оцінка придатності приведених моделей проводиться в наступній послідовності:

- оцінюється похибка прогнозування при використанні кожного з методів за формулою:

$$\varepsilon_{pr} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_{pr} - P_r}{P_r} \right)^2}, \quad (5)$$

де  $P_{pr} = P_S(n+1, \Delta t_D)$ ;  $P_r = P_S[n, \Delta t_D]$ ;

- проводиться детальний аналіз вибраного методу, а отже і відповідної моделі, що враховує фактичний прогноз технічного стану або залишкового ресурсу;
- за величиною похибки прогнозу різними моделями вибирається з них мінімальна  $\varepsilon_{pr} \Rightarrow \min$ .

Щодо оцінки прогнозу (естимачії) технічного стану агрегатів та систем ТЗ, то можна зазначити наступне. Кожна з моделей відображає вирівнюючі властивості, що намагаються реалізувати найменшу похибку прогнозу. При цьому естимачії прогностичних моделей можна визначити за наступними виразами:

- для лінійної моделі:

$$P_S[(n+1), t_D] = \lambda_e \cdot (n+1), t_D + \gamma_e, \quad (7)$$

- для квадратної моделі:

$$P[(n+1), t_D] = \beta_e [(2 \cdot n + 1) t_D]^2 + \lambda_e (n+1) t_D + \gamma_e \quad (8)$$

- для експонентної моделі:

$$P[(n+1) t_D] = \gamma_e \exp[\lambda_e \cdot (1+n) \cdot t_D] \quad (9)$$

- для квадратично-експоненціальної функції:

$$P[(n+1), t_D] = \gamma_e \exp[\lambda_e \cdot (1+n) \cdot t_D]^2 \quad (10)$$

де  $\lambda_e, \gamma_e, \beta_e$  - невідомі коефіцієнти, які визначаються методом найменших квадратів (МНК);

### Висновки:

1. Проаналізовано існуючі методи прогнозування технічного стану транспортних засобів та дано їх класифікацію у вигляді структурної схеми. Наведено принципи побудови структурної схеми та зміст її рівнів.

2. Запропоновано використання різних аналітичних форм діагностичної функції технічного стану від пробігу транспортного засобу при проведенні операцій прогнозування та наведено їх графічну інтерпретацію.

3. Отримано вирази для оцінки придатності лінійної, квадратичної, експоненціальної, квадратично-експоненціальної моделей, для прогнозування надійності стану агрегатів та систем транспортних засобів з урахуванням інтенсивності відмов та проміжку часу між діагностуванням.

4. Розроблено алгоритм оцінки придатності лінійної, квадратичної, експоненціальної, квадратично-експоненціальної моделей для прогнозування надійності стану агрегатів та систем транспортних засобів.

5. Для реалізації найменшої похибки прогнозу запропоновано визначення естимацій прогностичних моделей.

## Список літератури

1. Барзилович Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию: монография / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. – М.: Транспорт, 1981. – 197с.
2. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М.Михлин. – М.: Колос, 1984. – 335с.
3. Полянський А.С. Підвищення точності прогнозування надійності агрегатів і систем техніки на стадії проектування / А.С. Полянський // Вісник ХТУ (ХП): сб науч. тр. – 2002. – №10, Т.1. – С. 130 – 134.
4. Бажинов А.В. Прогнозирование остаточного ресурса автомотора: монография / А.В. Бажинов. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 96с.
5. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуре и прогрессе интеллектуальной транспортной системы: монография / В.П.Волков, В.П.Матейчик, П.Б.Никонов [и др.]; Под. ред. В.П.Волкова – Донецк: Изд-во "Ноудмедж" (Донецкое отделение), 2013 – 398 с.
6. Кравченко О.П. Прогнозування фактичного терміну експлуатації та призначення нормального ресурсу шин вантажних автомобілів / О.П. Кравченко, О.П. Сакно, О.В.Лучіков // Вісник ДААТ. – 2011. – №4. – С.89-95.
7. Сухарев Э.А. Теория эксплуатационной надежности машин: монография / Э.А Сухарев. – Ровно: издательство УГАВХ, 1997. – 162с.
8. Аулін В.В. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Т.М. Замота // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №3. – С. 66-73
9. Аулін В.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегії технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, А.В. Гриньків // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування. – 2015. – № 28. – С. 126-132.

### **Andriy Grinkiv, post-graduate**

*Kirovohrad national technical university, Kirovograd, Ukraine*

#### **Using forecasting techniques to manage the technical condition of units and vehicles**

Road transport plays a leading role in the market, providing services to different types of traffic in Ukraine's economy, and has a maximum load operation. An important task is the optimization and justification of complex technical actions to improve maintenance or repair and maintenance of high technical readiness coefficient vehicles in operation by forecasting them.

Existing methods of the forecasting technical condition vehicles and the classification given them in the form of block diagram. An principles of structural scheme and content levels. The use of various forms of analytical diagnostic features technical condition of the vehicle mileage in the operations and are forecasting graphic or interpreting them.

The expressions to assess the suitability of linear, quadratic, exponential, quadratic, exponential models to predict the reliability of state units and vehicles based failure rate and time between diagnoses. The algorithm assesses the suitability of linear, quadratic, exponential, quadratic, exponential models to predict the reliability of state units and vehicles. To realize the smallest prediction error estimation proposed definition of prognostic models.

#### **predictive models estimation methods of forecasting, classification**

Одержано 14.12.15

УДК 631.3.02-52.001.57

С.О. Квітка, доц., канд. техн. наук, Д.М. Нестерчук, доц., канд. техн. наук, О.С. Квітка, асп.

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м.Мелітополь, Україна,  
E-mail: dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua*

## Електроакустична система дозування компонентів кормових сумішей

Розглянуті питання щодо дослідження процесу дозування компонентів кормових сумішей дозаторами безперервної дії. Для компенсації відхилень витрати кормових сумішей від заданого значення, які виникають в процесі дозування, розроблена система керування процесом дозування за допомогою замкнутої системи регулювання, в якій передбачений електропривод, що забезпечує плавне регулювання швидкості барабана дозуючого пристрою.

Наведені результати статистичного аналізу обробки потоків ячмінного борошна.

Застосування запропонованої системи дозування компонентів кормових сумішей дозволило забезпечити дозування дрібнофракційних компонентів кормових сумішей з похибкою, яка не перевищує  $\pm 3\%$ , що свідчить про високу якість роботи електроакустичної системи дозування.

**кормова суміш, електроакустична система, дозування, дозатор, регульований електропривод**

С.А. Квитка, доц., канд. техн. наук, Д.Н. Нестерчук, доц., канд. техн. наук, А.С. Квитка, асп.

*Таврический государственный агротехнологический университет, г.Мелитополь, Украина*

### Электроакустическая система дозирования компонентов кормовых смесей

Рассмотрены вопросы исследования процесса дозирования компонентов кормовых смесей дозаторами непрерывного действия. Для компенсации отклонений расходов кормовых смесей от заданного значения, возникающих в процессе дозирования, разработана система управления процессом дозирования с помощью замкнутой системы регулирования, в которой предусмотрен электропривод, обеспечивающий плавную регулировку скорости барабана дозирующего устройства.

Приведенные результаты статистического анализа обработки потоков ячменной муки.

Применение предложенной системы дозирования компонентов кормовых смесей позволило обеспечить дозирования мелкофракционных компонентов кормовых смесей с погрешностью, не превышающей  $\pm 3\%$ , что свидетельствует о высоком качестве работы электроакустической системы дозирования.

**кормовая смесь, электроакустическая система, дозировка, дозатор, регулируемый электропривод**

**Постановка проблеми.** Найважливішою умовою високоефективного використання кормів при виробництві продукції тваринництва є годування тварин повноцінними кормами. При цьому годувати тварин різноманітними кормами доцільно у вигляді кормових сумішей. Особливістю процесу приготування високоякісних кормових сумішей є введення суворої визначеної (дозованої) кількості різноманітних компонентів.

Тоді як, вибір конструктивних елементів дозуючих пристроїв здійснюється на підставі властивостей матеріалу, що дозується, і їх оптимальні параметри можна визначити аналітично для кожного конкретного випадку, то властивості матеріалу, які характеризують густину його потоку, будуть носити випадковий характер, який спричиняється зміною його гранулометричного складу, вологості, а також нерівномірністю формування потоку матеріалу робочими органами дозаторів.

У результаті сумісної дії всіх факторів витрата матеріалу безперервно змінюється, як наслідок, останню можна розглядати, як випадковий процес  $Q(t)$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У технологічних лініях кормоцехів частіше інших застосовується об'ємне дозування, яке часто не задовольняє зоотехнічних вимог до процесу дозування [1, 2, 3].

Відомі роботи по дослідженню технологічного обладнання для дозування дрібнофракційних компонентів кормових сумішей, а також розроблені на їх основі засоби контролю витрати матеріалів, що не забезпечують надійної роботи технологічних машин та необхідної точності дозування, та, як наслідок, і високої якості кінцевого продукту [1, 2].

Крім того, в нашій країні і за кордоном практично відсутні розробки засобів контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормових сумішей, як складової частини електрообладнання для систем дозування технологічних ліній, які б відповідали сучасному рівню розвитку вимірювальної техніки [2].

Як відмічено в [2, 3], однією з ключових характеристик дозаторів безперервної дії є рівномірність видачі заданої кількості матеріалу з відхиленням не більш  $\pm\Delta$ , який видається за проміжок часу  $\Delta t$ , тобто при  $Q_{зАд}(t) = const$  в забезпеченні виразу виду

$$\int_{t_i}^{t_i+\Delta t} Q(t)dt - Q_{зАд} \Delta t \leq \pm\Delta, \quad (1)$$

де  $Q(t)$  – реалізація значень витрати в інтервалі  $t_i - (t_i + \Delta t)$ ;

$Q_{зАд}(t)$  – задане значення витрати;

$\Delta$  – допустиме відхилення.

В роботах [2, 3] встановлено, що при дослідженні процесу безперервного дозування величина інтервалу  $\Delta t$  справляє вирішальне значення на повноту інформації, яка отримується, та для різних кормових потоків тривалість інтервалу відбору проб не повинна перевищувати однієї секунди, так як збільшення цього інтервалу веде до втрати інформації про внутрішню структуру потоку.

**Постановка завдання.** Завданням даної роботи є дослідження процесу дозування компонентів кормових сумішей дозаторами безперервної дії з метою компенсації відхилень витрати компонентів від заданого значення, які виникають в процесі дозування, за допомогою електроакустичної системи дозування.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводились методом відбору проб матеріалу, що дозується, з вихідного отвору барабанного дозатора за інтервали часу  $\Delta t$  з кроком  $\Delta t$ , тобто  $t_i = t_0 + (i - 1)\Delta t$ , для ряду значень

$$G(t) = \int_{t_0+(i-1)\Delta t}^{t_0+i\Delta t} Q(t)dt, \quad (2)$$

де  $Q(t)$  – поточне значення витрати корму;

$t_0$  – початковий час вибірки.

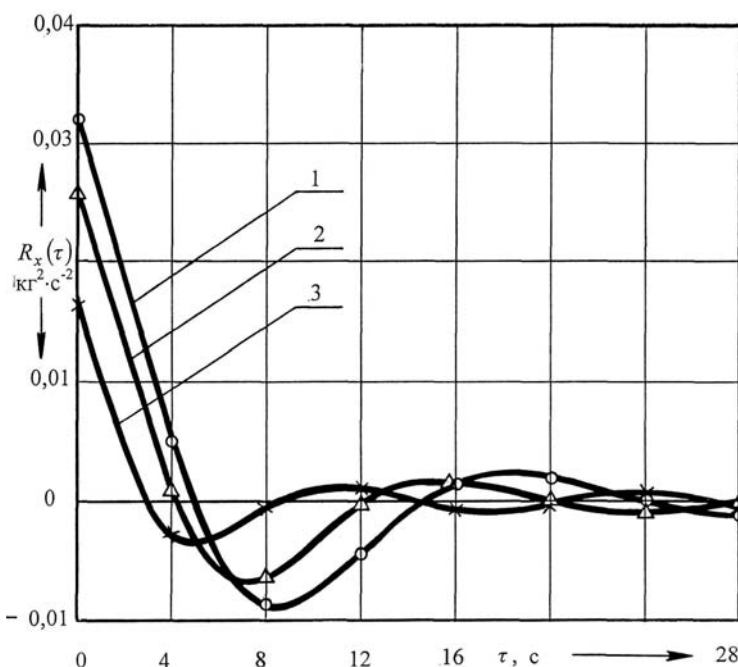
У результаті реєстрації проб через рівні відрізки часу отримали часовий ряд, який дозволяє побудувати графік реалізації випадкового процесу  $Q(t)$ .

Отримані дискретні значення маси порцій борошна ячмінного кормового обробляли статистичними методами. Результати обробки отриманих значень маси порцій борошна ячмінного кормового наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники статистичної обробки результатів

Показники	Кутова швидкість обертання барабана дозатора $\omega, c^{-1}$		
	0,94	2,04	2,82
Математичне очікування $m_x, кг \cdot c^{-1}$	0,64	1,35	1,92
Загальна дисперсія $D_x, кг^2 \cdot c^{-2}$	0,0164	0,0258	0,0317
Середнє квадратичне відхилення $\sigma_x, кг \cdot c^{-1}$	0,128	0,161	0,178
Коефіцієнт варіації $V_x, \%$	20	11,9	9,3
Максимальне значення спектра $S(\omega), кг^2 \cdot c^{-2}$	0,0191	0,0483	0,0742
Коефіцієнт асиметрії $A_x$	-0,371	0,429	0,343
Коефіцієнт ексцесу $E_x$	-0,297	0,362	0,183

Для перевірки стаціонарності процесу дозування були побудовані апроксимуючі кореляційні функції потоків борошна ячмінного кормового при різних значеннях швидкості обертання барабана дозатора:  $\omega_1 = 2,82 c^{-1}$ ,  $\omega_2 = 2,04 c^{-1}$  та  $\omega_3 = 0,94 c^{-1}$  (рис. 1):



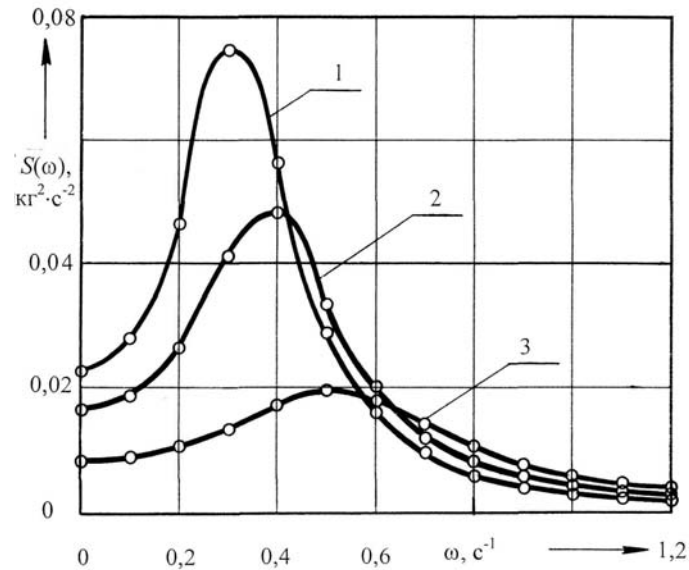
1 – швидкість обертання барабана дозатора  $2,82 c^{-1}$ ; 2 – швидкість обертання барабана дозатора  $2,04 c^{-1}$ ; 3 – швидкість обертання барабана дозатора  $0,94 c^{-1}$

Рисунок 1 – Апроксимуючі кореляційні функції потоків борошна ячмінного при різних швидкості обертання барабана дозатора ДП-1

Значення коефіцієнтів автокореляційної функції відповідно склали:  $\alpha_1 = 0,14$ ;  $\beta_1 = 0,32$ ;  $\alpha_2 = 0,176$ ;  $\beta_2 = 0,38$ ;  $\alpha_3 = 0,29$ ;  $\beta_3 = 0,53$ .

З наведених кореляційних функцій видно, що з бігом часу  $\tau$  коливання згасають, що свідчить про стаціонарність процесу.

Для аналізу причин виникнення нерівномірності дозування були побудовані спектральні щільності розподілення дисперсії за частотами для випадку регулювання подачі борошна ячмінного зміною числа обертів барабана дозатора (рис. 2).



1 – швидкість обертання барабана дозатора  $2,82 \text{ c}^{-1}$ ; 2 – швидкість обертання барабана дозатора  $2,04 \text{ c}^{-1}$ ; 3 – швидкість обертання барабана дозатора  $0,94 \text{ c}^{-1}$

Рисунок 2 – Спектральна щільність потоку борошна ячмінного при різних швидкості обертання барабана дозатора ДП-1 -  $2,82 \text{ c}^{-1}$ ; 2 -  $2,04 \text{ c}^{-1}$ ; 3 -  $0,94 \text{ c}^{-1}$

Для яких за методикою [3] визначено вид апроксимуючого виразу

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha_i \tau} \cos \beta_i \tau, \quad (3)$$

де  $D_x$  – дисперсія;

$\alpha_i, \beta_i$  – параметри автокореляційної функції.

Спектральні щільності розподілення дисперсії, за методикою [3], апроксимувались виразом

$$S(\omega) = \frac{2\alpha_i D_i}{\pi} \cdot \frac{\omega^2 + \alpha_i^2 + \beta_i^2}{(\omega^2 - \beta_i^2 - \alpha_i^2) + 4\alpha_i^2 \omega^2}, \quad (4)$$

де  $S(\omega)$  – спектральна щільність;

$\alpha_i, \beta_i$  – параметри автокореляційної функції;

$D_x$  – дисперсія;

$\omega$  – частота.

Аналізуючи спектральні щільності видно, що при збільшенні частоти спектральна щільність  $S(\omega)$  швидко зменшується і при  $\omega \geq 1,0$  можна вважати, що  $S(\omega) = 0$ .

Отже, максимальна частота елементарних гармонік, які формують потік борошна ячмінного кормового, практично не перевищує  $\omega = 1,0 \text{ c}^{-1}$ .

Таким чином, період відповідних коливань складає [1]

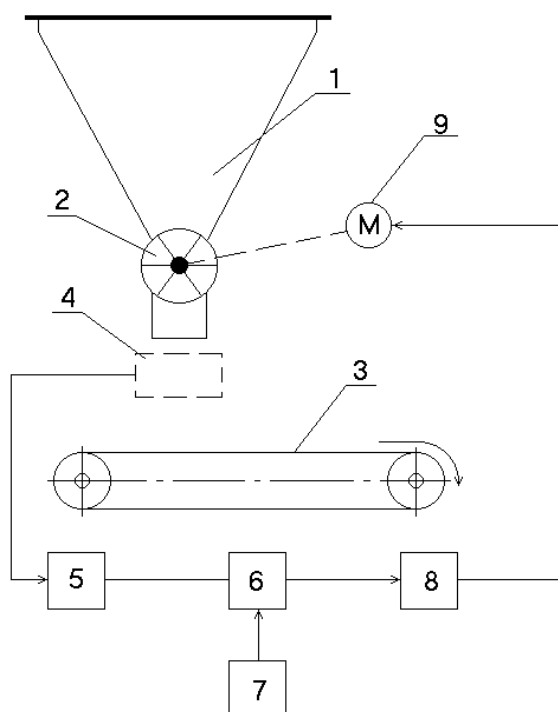
$$T_{\min} = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (5)$$

Виходячи з того, що, в нашому випадку,  $T_{\min} = 6,28 \text{ c}$ , і за цей період часу виділяється визначальна кількість енергії коливань потоку борошна ячмінного, а це означає, що через кожні шість секунд може виникнути необхідність в зміні режиму роботи і регулюючих характеристик.

Очевидно, що для підтримування необхідної рівномірності і, відповідно точності видачі матеріалу, що дозується, ручна механічна настройка продуктивності повинна бути замінена пристроєм регулювання подачі з контролем витрати в безперервному потоці.

Отримані статистичні оцінки відхилень витрати дозволяють визначити найбільш сприятливий режим роботи дозуючого пристрою. Враховуючи, що параметри  $\alpha_i$  і  $\beta_i$  визначені спектром виходу матеріалу, що дозується, і розподілені в достатньо жорстких межах, основним критерієм для оцінювання відхилень витрати, згідно [1], є інтервал інтегрування  $\Delta t$ , який в сполученні з параметрами спектра і є критерієм для обґрунтування типу пристрою для контролю і регулювання витрати компонентів кормових сумішей в безперервному потоці.

Для компенсації виникаючих в процесі дозування відхилень витрати від заданого значення, розроблена система керування процесом дозування за допомогою замкнутої системи регулювання (рис. 3). В даній системі передбачений електропривод, який забезпечує плавне регулювання швидкості барабана дозуючого пристрою.



1 - бункер; 2 - барабанный дозатор; 3 - транспортер; 4 - акустична вимірвальна камера; 5 - підсилювач; 6 - лічильник кількості матеріалу; 7 - задавальний блок; 8 - блок керування електродвигуном; 9 - електродвигун

Рисунок 3 – Структурна схема електроакустичної системи дозування

Розроблена система керування процесом дозування дозволяє в широкому діапазоні змінювати коефіцієнт передачі, що дає можливість при її використанні дозувати компоненти кормових сумішей, які мають різноманітні фізико-механічні властивості.

З умови статичної рівноваги [4], можна вивести співвідношення для регулювання по швидкості обертання барабана дозатора

$$\frac{\Delta p_i}{p_i \pm \Delta p_i} = k \frac{dv}{dp}, \quad (6)$$

де  $p_i$ ,  $\Delta p_i$  – параметри, які характеризують густину потоку матеріалу;  
 $k$  – коефіцієнт передачі пристрою керування;  
 $v$  – швидкість обертання барабана дозатора.

З наведеного співвідношення виходить, що для дотримання оптимальних умов роботи дозатора потрібний регульований електропривод, який разом із електроакустичним пристроєм контролю витрати [4] дозволив би з достатньою точністю регулювати величину коефіцієнта передачі у відповідності з характеристиками матеріалу, що дозується. Тривалість, знак і модуль миттєвих відхилень витрати є випадковими величинами.

З точки зору, автоматичного регулювання всяке відхилення витрати є збуренням і система регулювання повинна реагувати на збурення таким чином, щоб привести величину витрати до заданого значення.

В залежності від технологічних вимог, однією із задач застосування автоматичних систем дозування [1], є підтримання заданого середнього значення витрати за визначений відрізок часу та регулюванню по цьому значенню.

Відповідно до [1] для отримання стійкого значення сигналу середньої витрати необхідно, щоб період, за який здійснюється усереднення, був значно більше тривалості окремих флуктуаційних збурень.

Залежність середнього значення сигналу від співвідношення тривалості флуктуації  $\tau_{\max}$  і часу вимірювання  $t$  описується рівнянням [1]

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\tau_{\max} \cdot \Delta Q_{\max}}{t \cdot Q_{\text{сеп}}}, \quad (7)$$

де  $\Delta Q_{\max}$  – значення максимального відхилення витрати;  
 $Q_{\text{сеп}}$  – середнє значення витрати;  
 $\tau_{\max}$  – максимальна тривалість флуктуації;  
 $t$  – час вимірювання.

При розробці системи керування процесом дозування відношення  $\tau_{\max}/t$  вибране таким, щоб зміна сигналу не перевищувала допустимих відхилень витрати.

Час, за який здійснюється усереднення, визначався на підставі співвідношення (7) і фактичної максимальної тривалості флуктуації для матеріалу, що дозується, при даному типі живильника.

Так, дослідженнями [1] встановлено, що при розмірі матеріалу 0,1...1,0 мм середня тривалість флуктуації складає 0,1...0,4 с.

У результаті усереднення сигналу від чутливого елемента в даній системі забезпечено регулювання за середньою продуктивністю, тобто виключений вплив флуктуацій витрати на процес авторегулювання.

Даний спосіб дозування сприяє підвищенню стійкості роботи дозатора, так як скорочується кількість збурень і, відповідно, загальний час перехідних процесів регулятора.

#### **Висновки:**

- для компенсації відхилень витрати від заданого значення, що виникають в процесі дозування, розроблена система керування процесом дозування за допомогою замкнутої системи регулювання, в якій передбачений електропривод, що забезпечує плавне регулювання швидкості барабана дозуючого пристрою;

- застосування запропонованої системи дозволило забезпечити дозування дрібнофракційних компонентів кормових сумішей з похибкою, яка не перевищує  $\pm 3\%$ , що свідчить про високу якість роботи електроакустичної системи дозування.

## Список літератури

1. Василенко П.М. Механизация и автоматизация процессов приготовления и дозирования кормов / П.М. Василенко, И.И. Василенко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 224 с.
2. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов / Ю.Д. Видинеев. – М.: Энергия, 1974. – 120 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
4. Менли Р. Анализ и обработка записей колебаний: Пер. с англ. / Р. Менли. – М.: Машиностроение, 1972. – 369 с.
5. Пат. № 49906 Україна, МПК 7 G01F1/66. Пристрій для вимірювання витрати компонентів кормосумішей / В.Ф. Яковлев, С.О. Квітка. – № 99021023; заявл. 23.02.99; опубл. 15.09.00, Бюл. № 4-1.

**Kvitka Sergei, Assos. Prof., PhD tech. sci., Nesterchuk Dina, Assos. Prof., PhD tech. sci., Kvitka Aleksandr, post-graduate**

*Tavria State Agro technological University, Melitopol, Ukraine*

### **Electro Acoustic System of Dispensing Feed Mixtures Components**

The research of the process of dispensing feed mixtures components in continuous operation is worked in this article. To compensate the resulting variations in the dispensing consumption of feed mixtures from preset values we developed the system to control dispensing process using a closed system of regulation, which provides smooth dispensing roller speed regulation using electric drive.

The results of the statistical analysis of flows processing is presented.

Applying the proposed system for dispensing feed mixtures components allowed us to provide dispensing of small fraction feed mixtures components with an error that does not exceed  $\pm 3\%$ , which demonstrates the high quality of the electro- acoustic dispensing system.

**Feed mixture electroacoustic system, dispensing, dispenser, electric adjustable drive**

Одержано 07.12.15

**УДК 631.171**

**В.Л. Куликівський, канд. техн. наук, В.М. Боровський, ст. викл., В.К. Палійчук, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м.Житомир, Україна,*

*E-mail: kylikovskiy@mail.ru*

## Аналіз процесу переміщення зернового матеріалу аераційним транспортером

Наведені рівняння, що визначають силу псевдозрідженого матеріалу, який переміщається по аерожолобу. Встановлено, що опір шару зерна переміщенню, змінюється в залежності від пористості шару матеріалу. Проаналізовані основні властивості зерна, як об'єкта сушіння і аераційного переміщення, враховуючи які можна не тільки раціонально та ефективно здійснювати зазначені процеси, а й поєднати їх.

**аераційний транспортер, аеродинамічний опір, вологість, зерновий матеріал, переміщення, сушіння**

**В.Л. Куликовский, канд. техн. наук, В.Н. Боровский, ст. преп., В.К. Палийчук, доц., канд. техн. наук**

© В.Л. Куликівський, В.М. Боровський, В.К. Палійчук, 2016

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г.Житомир, Украина*

### **Анализ процесса перемещения зернового материала аэрационным транспортером**

Приведены уравнения, определяющие силу псевдооживленного материала, который перемещается по аэрожелобу. Установлено, что сопротивление слоя зерна перемещению, меняется в зависимости от пористости слоя материала. Проанализированы основные свойства зерна, как объекта сушки и аэрационного перемещения, учитывая которые можно не только рационально и эффективно осуществлять указанные процессы, но и сочетать их.

**аэрационный транспортер, аэродинамическое сопротивление, влажность, зерновой материал, перемещение, сушка**

**Постановка проблеми.** Аналіз літературних джерел та виробничої практики показують, що в даний час для переміщення зернового матеріалу найбільш перспективним є аераційний спосіб транспортування. Основним недоліком існуючих аераційних транспортерів для зерна є те, що в них неможливо управляти параметрами повітряного потоку, а це призводить до неможливості керування швидкістю транспортування зерна та продуктивністю аераційного живильника. Також, аераційні транспортери можуть в даний час виконувати тільки одну задачу – переміщення зерна, що істотно обмежує область їх застосування.

Відомо, наприклад, що повітря, проходячи через зернову масу, при умові, що воно має меншу вологість, ніж зерно, забирає вологу із зернової маси. Таким чином, в аераційному транспортері може бути реалізовано підсушування зерна перед подальшими технологічними операціями його обробки. До того ж, як відомо, повільне видалення вологи із насінневого матеріалу в процесі сушіння сприяє природному процесу дозрівання зерна, що позитивно впливає на якість матеріалу.

Тому найбільший інтерес, з точки зору функціональності, продуктивності та якості процесу переміщення зерна, представляє аераційний транспортер для зерна з можливістю управління параметрами повітряного потоку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі аераційного транспортування показники якості насіння повинні зберігатися та поліпшуватися. Основним показником якості насінневого зерна є енергія проростання. У насінневої маси оцінюється також наявність тріщин, кількість та якість вмісту поживних речовин, колір і запах. Всі ці показники залежать від температурного режиму та тривалості процесу транспортування і сушіння, від біологічних особливостей зернової маси, конструкції аераційного транспортера та особливостей його експлуатації [1-3].

Для збереження та поліпшення показників якості насінневої маси під час аераційного транспортування необхідно витримувати оптимальні параметри процесу. Найбільш важливим параметром, який необхідно контролювати під час аераційного транспортування, є швидкість повітряного потоку, що впливає на зернову масу.

Одним з найважливіших параметрів зернової маси для успішного проведення аераційного транспортування є її вологість.

Аераційний транспортер з можливістю управління параметрами повітряного потоку може виконувати як транспортування зернової маси, так і її підсушування, а також тимчасове зберігання з активним вентиляванням.

У аеродинамічних транспортерах вертикальна складова сили впливу струменів повітряного потоку, що виходять через повітряпідвідну перегородку під гострим кутом до її поверхні, зменшує контакт зернин одна з одною та знижує їх силу тертя зі стінками транспортуючого каналу і поверхнею перегородки (рис. 1). При цьому зерновий матеріал потрапляє у псевдозріджений стан та набуває властивостей рідини [1]. В той же час горизонтальна складова сили впливу струменів повітряного потоку переміщує зерновий матеріал по повітродозподільній перегородці від місця його подачі до вивантажувального пристрою.

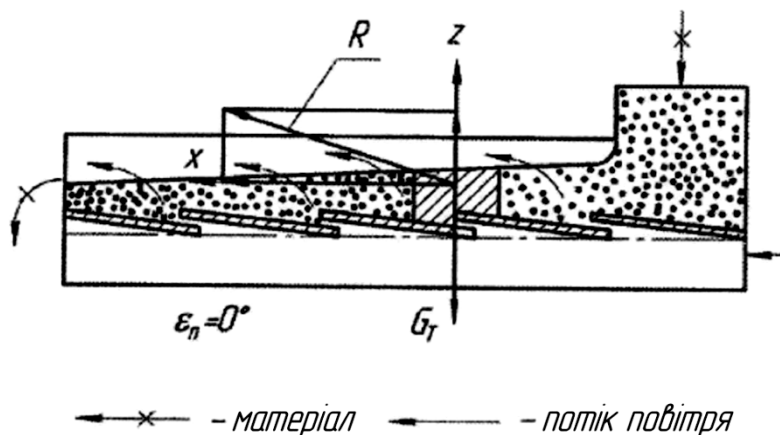


Рисунок 1 – Принцип дії аеродинамічного транспортера при переміщенні матеріалу в горизонтальному напрямку

**Постановка завдання.** Проаналізувати особливості процесу транспортування матеріалу аераційним транспортером, для забезпечення якісного переміщення зерна на пунктах його переробки, що є найважливішим завданням для функціонування потокового виробництва.

**Виклад основного матеріалу.** Структурною характеристикою зернового шару є пористість ( $\varepsilon$ ) – відсоткове відношення обсягу повітряних проміжків до загального обсягу зернового матеріалу [2]. Визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{V_1 - V}{V_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $V_1$  – об'єм шару зернового матеріалу,  $\text{м}^3$ ;  
 $V$  – об'єм зерна,  $\text{м}^3$ .

Зв'язок між параметрами, що характеризують «киплячий шар» у всьому інтервалі його перебування, від порушення нерухомого шару до винесення частинок за його межі, виражається закономірністю:

$$\varepsilon = Ar^{-0,21} \cdot (18Re + 0,36Re^2)^{0,21}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – пористість зернового насипу та псевдозрідженого шару;

$Ar = g \cdot d_e \cdot (\rho_m - \rho) / (c^2 \cdot \rho)$  – число Архімеда;

$Re = c \cdot d_e / \nu$  – число Рейнольдса, віднесене до швидкості з повітря та еквівалентному діаметру  $d_e$  частинок;

$g$  – прискорення сили тяжіння;

$\rho_m$  та  $\rho$  – щільність речовини частинок та повітря;

$\nu$  – кінематична в'язкість повітря.

З урахуванням того, що  $\rho_m \gg \rho$ , наближено втраті тиску в псевдозрідженому шарі визначаються з рівняння:

$$\Delta P_{sv} = \rho_m \cdot g \cdot (1 - \varepsilon) \cdot H_e. \quad (3)$$

$H_e$  – висота зернового матеріалу.

Лобовий тиск повітряного потоку на транспортований матеріал знаходиться з рівняння:

$$R = k \cdot F_M \cdot \rho \cdot \left( \frac{w_\phi}{\varepsilon} \right)^2, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору;

$F_M$  – площа міделевого перерізу;

$w_\phi$  – швидкість фільтрації.

Отже, лобовий тиск повітряного потоку зростає при збільшенні  $F_M$  і  $w_\phi$  та зменшенні  $\varepsilon$ .

При горизонтальному розташуванні перегородки підймальна та перемішувальна сили знаходяться із рівнянь:

$$\begin{aligned} P_O &= R \cdot \sin a_n - G_T; \\ P_n &= R \cdot \cos a_n, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $G_T$  – сила тяжіння матеріалу;

$a_n$  – кут нахилу перегородки.

З наведених рівнянь, що визначають силу псевдозрідженого матеріалу, який переміщується по аерожолобу, випливає, що вона зростає при збільшенні кута  $a_n$ , а рушійна сила матеріалу при цьому зменшується.

Стан зерна в процесі сушіння характеризується двома параметрами – температурою та вологістю. Розрізняють відносну та абсолютну вологість зернової маси. Вологість, при якій врожай зерна стійко зберігається, називається кондиційною вологістю [3].

Відносна вологість визначається із виразу:

$$W = \frac{G_B}{G} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де  $G_B$  – маса води;

$G$  – маса вологих зернин,  $G = G_B + G_{\text{сyx}}$ ;

$G_{\text{сyx}}$  – маса сухої речовини.

Абсолютна вологість:

$$W_a = \frac{G_B}{G_{\text{сyx}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Абсолютна та відносна вологості взаємопов'язані та можуть виражатися одна через іншу:

$$W = \frac{W_a}{100 + W_a} \cdot 100\%;$$

$$W_a = \frac{W}{100 + W} \cdot 100\%. \quad (8)$$

На практиці, при оцінці якості насіння, зазвичай визначають значення відносної вологості. Надалі під поняттям вологості зерна буде матися на увазі його відносна вологість. Крім того, характеристикою стану речовини, з точки зору вологості, в теорії сушіння є вологовміст:

$$U = \frac{G_B}{G_{\text{сух}}} = \frac{W_a}{100}. \quad (9)$$

При певному за часом контакті повітря з насінням, вологообмін між ними припиняється та настає рівноважна вологість. Величина рівноважної вологості для різних культур неоднакова, вона також залежить від температури атмосферного повітря та його відносної вологості.

При підвищенні температури повітря з його незмінною вологістю рівноважна вологість зерна знижується, так як абсолютна кількість водяної пари в повітрі збільшується, але зростає і вологоємність повітря. Величина рівноважної вологості залежить і від хімічного складу зерна. При підвищенні вмісту жиру у насінні, величина їх рівноважної вологості знижується.

Аеродинамічний опір шару зернової маси, що сушиться та транспортується, необхідно враховувати при виборі вентиляційного устаткування. Даний опір зернової маси може змінюватися в широких межах, залежно від пористості, на яку впливають вологість зерна, висота шару, способу завантаження зернової маси, що сушиться або транспортується. Хоча більш вологе зерно укладається менш щільно, ніж сухе, шар вологого зерна легше деформується, канали міжзернового простору зменшуються і аеродинамічний опір шару зростає. Опір шару зернового вороху змінюється в степені  $\Delta P \sim \varepsilon^3$  від пористості шару, тому навіть незначне зниження останнього обумовлює суттєве зростання втрати сили потоку.

Збільшення швидкості повітряного потоку призводить до спушування, потім до розпушування шару із переходом його в киплячий або псевдозріджений стан. Розпушування шару характеризується падінням аеродинамічного опору, який у стадії киплячого шару коливається близько постійної величини. При подальшому збільшенні швидкості повітряного потоку зерно переходить у зважений стан або переміщується за межі робочої зони.

Швидкість повітря, при якій зерно знаходиться в підвішеному стані, є швидкість витання, яка визначається за формулою:

$$V_B = \sqrt{\frac{q}{K \cdot \rho_B \cdot F}}, \quad (10)$$

де  $q$  – маса зерна, кг;

$K$  – коефіцієнт лобового опору;

$\rho_B$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – міделевий переріз зернини, м<sup>2</sup>.

У зв'язку з великою неоднорідністю зернового вороху, що надходить від комбайнів, швидкість витання для компонентів однієї і тієї ж культури коливається в широкому діапазоні. Швидкість витання для зерна деяких культур при температурі повітря 20 °С знаходиться в наступних межах: у пшениці 9,0...11,5 м/с; жита 8,5...10,0 м/с; вівса 8,0...9,0 м/с; ячменю 8,5...10,5 м/с; конюшини червоної 3,9...7,45 м/с; тимофіївки 1,1...6,0 м/с.

Збільшення вологості зерна практично не впливає на нижню межу швидкості повітря, при якій починається віднесення окремих, найбільш легких насінин.

Аеродинамічні властивості частинок зернових сумішей характеризуються опором, який чинить їх руху повітряне середовище. Частинки, відчують більший опір під дією рівних сил, відносно повітряного потоку рухаються повільніше, ніж частинки, що зустрічають менший опір. При цьому на частинку, що знаходиться в потоці повітря, діє сила  $R$ :

$$R = K \cdot \rho \cdot F \cdot v_q^2, \quad (11)$$

де  $v_q$  – швидкість частинки відносно потоку повітря, м/с.

Прискорення, що набувається частинкою під впливом повітряного потоку, визначається рівнянням:

$$j = \frac{R}{m} = K \cdot \rho \cdot F \cdot v_q^2 / m = K_n \cdot v_q^2, \quad (12)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт парусності;

$m$  – маса частинки, кг.

При проведенні досліджень продуктивності аераційних транспортерів застосовувалися три типи перегородок, пластини яких були закріплені під кутом  $\alpha=60^\circ$ ,  $66^\circ$  та  $70^\circ$ , завдяки чому забезпечувався раціональний вихід струменів повітря з перегородки.

Тиск  $P$  необхідний для переміщення зернового матеріалу та кут нахилу повітродозподільної перегородки  $\gamma_n$  (рис. 2, 3) змінювались. При цьому транспортувалося насіння ячменю з вологістю 13,4 %. Проведені дослідження показали, що при всіх значеннях кута  $\gamma_n$  в міру збільшення кута поворотної ділянки продуктивність аераційного транспортера знижується, а питомі витрати енергії зростають (рис. 2).

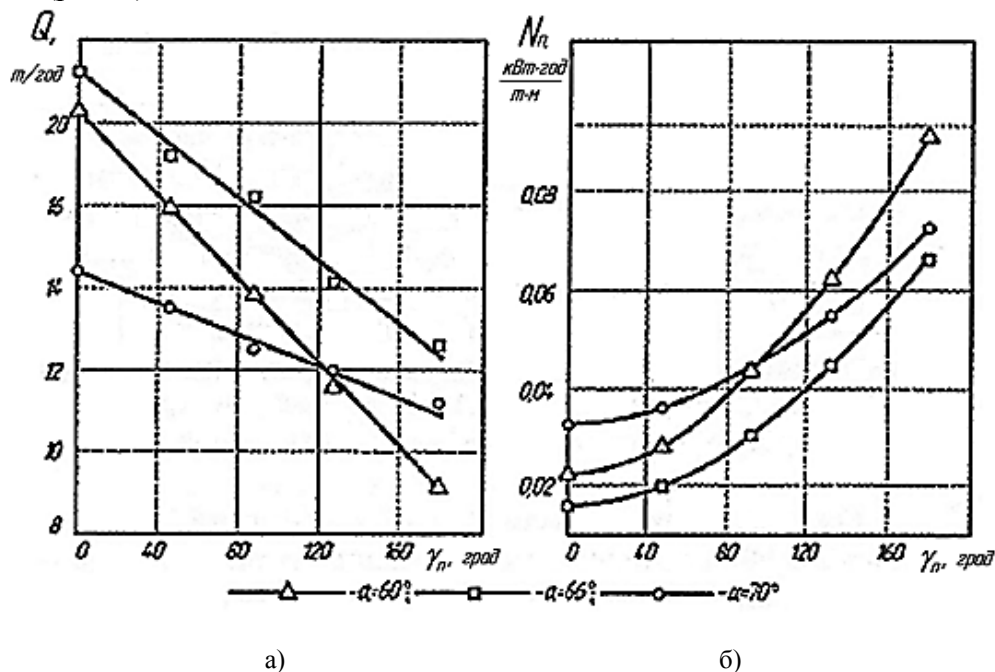


Рисунок 2 – Залежність продуктивності  $Q$  аераційного транспортера (а) та питомих витрат енергії  $N_n$  (б) від кута повороту перегородки  $\gamma_n$

Зниження продуктивності  $Q$  та збільшення питомої витрати енергії при підвищенні вологості (рис. 3) відбувається внаслідок зростання коефіцієнтів зовнішнього (виникаючого при переміщенні по опорній поверхні) і внутрішнього тертя насіння. При збільшенні коефіцієнта зовнішнього тертя зростає гальмівний вплив стінок транспортуючого каналу та перегородки на зерновий матеріал, що переміщується.

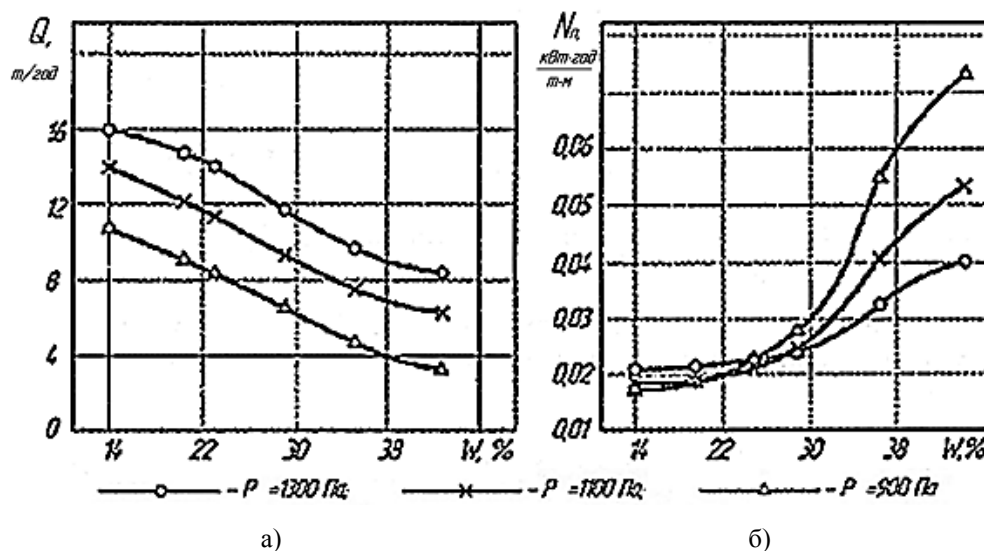


Рисунок 3 – Залежність продуктивності  $Q$  (а) та питомої витрати енергії  $N_n$  (б) від вологості  $W$  насіння

Залежність питомої пропускної здатності аераційних транспортерів, що мають різну довжину переміщення  $L$  та приблизно однакове відношення висоти повітряпідвідного каналу і його початковій висоті наведена на рис. 4. При цьому коефіцієнт живого перетину перегородки становив 6,75 %, а її ширина – 0,1 м.

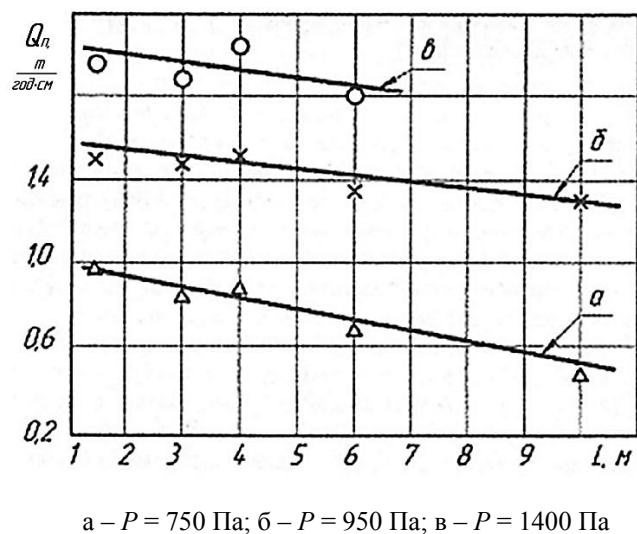


Рисунок 4 – Залежність питомої продуктивності  $Q_n$  аераційного транспортера від довжини  $L$  транспортування

**Висновки:** 1. Значення кінцевої швидкості частинок обмежене, воно не повинно перевищувати 3 м/с, щоб виключити травмування зерна. У той же час для отримання заданої продуктивності з найменшими витратами енергії необхідно мати можливо більше значення цієї швидкості.

2. Враховуючи основні властивості зерна як об'єкта сушіння та аераційного переміщення, можна не тільки раціонально і ефективно здійснювати дані процеси, а й поєднувати їх, оскільки аераційні транспортери через особливість принципу роботи це дозволяють.

## Список літератури

1. Зимин Е.М. Пневмотранспортные установки для вентилирования, транспортирования и сушки зерна (конструкция, теория, расчет) / Е.М. Зимин. – Кострома: Изд. КГСХА, 2000. – 215 с.
2. Волхонов М.С. Технологические факторы и состояние зернового слоя при его обработке в аэрожелобе / М.С. Волхонов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – №10. – С. 26-27.
3. Сычугов Н.П. Транспортно-вентиляционные аэрожелоба: Учебное пособие / Н.П. Сычугов. – Киров: Вятская ГСХА, 2010. – 268 с.

**Vladimir Kulykivskiy, PhD tech. sci., Victor Borovskiy, Senior lecturer, Vladimir Paliychuk, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

### **Analysis of the movement of grain aeration material conveyor**

To analyze the peculiarities of operating transport material conveyor which is an essential task for the functioning line production to ensure quality items for moving grain processing.

The equations that determine the strength of the material, which moves along air chute. Found that resistance layer of grain varies depending on the porosity of the material. The basic properties of grain, as drying and aeration object movement, given that you can not only efficiently and effectively to these processes, but also to combine them.

Aerodynamic resistance layer of the grain mass dried and transported to consider when choosing ventilation equipment. This resistance grain mass can vary widely, depending on the porosity, which affect moisture grain layer height, grain weight loading method that dries or transported.

**aeration conveyor, air resistance, humidity, grain material, handling, drying**

Одержано 04.11.15

**УДК 631.33: 631.58**

**П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, О.Р. Лузан, канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

*E-mail: luzanpg@gmail.com*

## Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна

В роботі запропоновано методику обґрунтування параметрів та визначення умов проходу часток зернової суміші крізь щілини решета, виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу. Встановлено, що на показник кінематичного режиму найбільше впливають початкова швидкість руху оброблюваного матеріалу та радіус решета, зміною яких можна добиватися необхідної ефективності сепарації. Визначено умови проходу часток оброблюваного матеріалу крізь щілини решета та умови, коли вони в них не застрягають.

**зерноочисна машина, решето, сепарація, критерій Фруда, очищення зерна, забивання решіт, зерно**

**П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, Е.Р. Лузан, канд. техн. наук, Д.И. Петренко, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Обоснование параметров решета для сепарации зерна**

В роботі предложена методика обоснования параметров, и определения условий прохода частиц зерновой смеси сквозь щели решета, выполненного из набора стержней, которые расширяются в направлении движения обрабатываемого материала. Установлено, что на показатель кинематического режима наиболее влияют начальная скорость движения обрабатываемого материала и радиус решета, изменением которых можно добиваться необходимой эффективности сепарации на решетках такого типа. Определены условия прохода частиц обрабатываемого материала сквозь щели решета и условия, когда они в них не застревают.

**зерноочиститель, решето, сепарация, критерий Фруда, очистка зерна, забивание решет, зерно**

**Постановка проблеми.** В зерноочисних машинах для розділення на фракції за розмірами і очищення зерна та продуктів його переробки від домішок, а також у аналогічних машинах в харчовій, гірничорудній, металургійній, будівельній та інших галузях промисловості для сортування сипких матеріалів, використовуються решета різних типів. Забивання решіт частинками матеріалів, що мають розміри, близькі до розмірів щілин решета, приводить до ускладнення конструкції зерноочисних машин очисними пристроями, які суттєво підвищують енергетичні витрати.

Багатократно проведення операцій очищення та сортування зерна, при вирощуванні в Україні близько 60 млн. тонн зернових культур, навіть при незначному покращенні роботи зерноочисних машин і зниженні їх енергоємності дозволить отримати суттєвий економічний ефект і сприятиме сталому розвитку сучасного сільськогосподарського виробництва [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі принципів побудови моделі ідеального сепаратора [2] М.Є. Авдєєвим започаткована ідея створення самоочисних решіт, для реалізації якої було запропоновано ряд конструкцій відцентрових сепараторів, однак складність їх виготовлення не дозволила широко впровадити такі решета у виробництво [3].

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено сімейство зерноочисних машин нового покоління на основі самоочисних пруткових решіт, та обґрунтовані їх параметри [4, 5, 6], однак поява нових технічних рішень потребує проведення додаткових досліджень.

Ідея створення решета [7] полягає в тому, що між двома рядом розташованими прутками при їх зсуві один відносно іншого в точці  $B$  створюються щілини, що розширюються (рис. 1), чим при певних параметрах решіт такого типу, може бути забезпечено їх самоочищення.

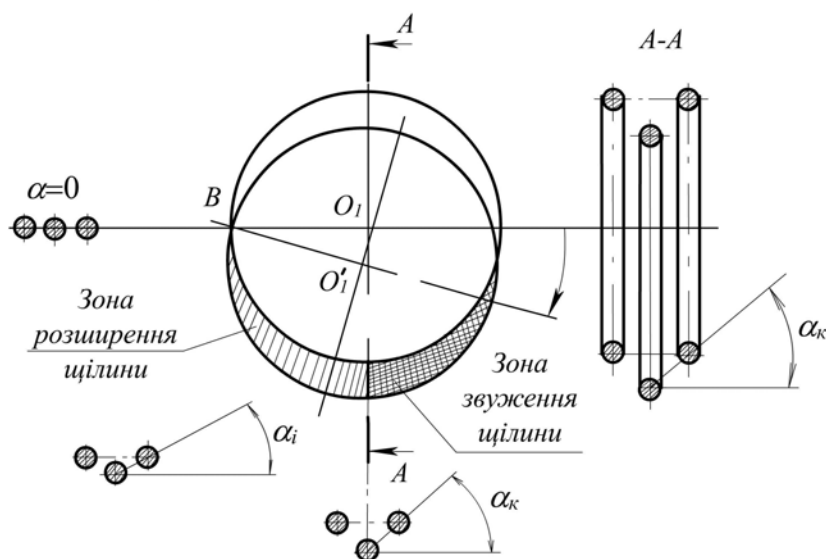


Рисунок 1 – Схема до обґрунтування параметрів щілини решета

Решето (рис. 2) складається з криволінійних стержнів 1 зігнутих в кінцевій частині Б, між якими на осях 2-5 розміщені змінні калібруючі шайби 6. Причому довжина решета  $L \leq \pi \cdot R/2$ , так як при інших значеннях спостерігається звуження щілини. Під дією ваги зернової суміші, вигнуті в кінцевій частині Б прутки, можуть переміщуватися «вверх-вниз» один відносно іншого, що в бік руху оброблюваного матеріалу створює деяке розширення щілин і забезпечує самоочищення решета.

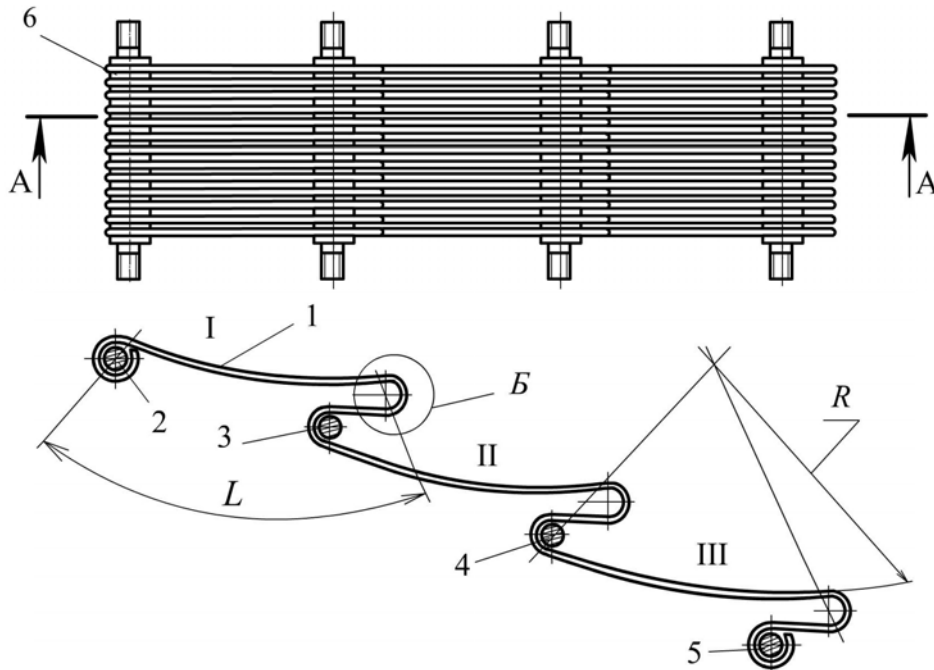


Рисунок 2 – Схема каскадного інерційно-гравітаційного решета

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є розробка методики обґрунтування параметрів та визначення умов проходження часток зернової суміші крізь щілини запропонованого решета, виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** Для складання рівняння руху частки вздовж клиноподібної щілини прийемо наступні допущення [8, 9]: частка рухається без перекочування і має форму еліпсоїда обертання з поперечним перерізом у вигляді круга діаметром –  $d_e$ ; пружні властивості частки і прутків решета суттєво не впливають на процес руху; частки не взаємодіють одна з одною; коефіцієнт тертя  $f$  залишається постійним на всьому шляху переміщення частки; опір повітряного середовища не враховується.

Розглянемо випадок руху частки по поверхні решета (рис. 3), яка представляє собою дугу кола утворену прутками опуклого профілю, де  $\Theta_0$  – кут, який визначає початкове положення решета;  $\Theta$  – кут, який визначає положення частки на решеті;  $R$  – радіус дуги решета;  $\alpha$  – кут розхилу прутків у поперечному перерізі;  $\beta$  – кут, який визначає положення частки на поверхні решета у поперечному перерізі;  $d_{np}$  – діаметр прутків решета.

На частку будуть діяти сили інерції: тангенційна  $C_t = m \frac{d^2 S}{dt^2} = m \frac{dV}{dt}$  та нормальна  $C_n = \frac{m}{R} \left( \frac{dS}{dt} \right)^2 = \frac{mV^2}{R}$ , сила тяжіння  $G = mg$ , нормальна реакція поверхні решета  $N$ , сила тертя  $F = fN$ , де  $m$  – маса частки;  $V$  – швидкість руху частки по поверхні решета;  $f$  – коефіцієнт тертя.

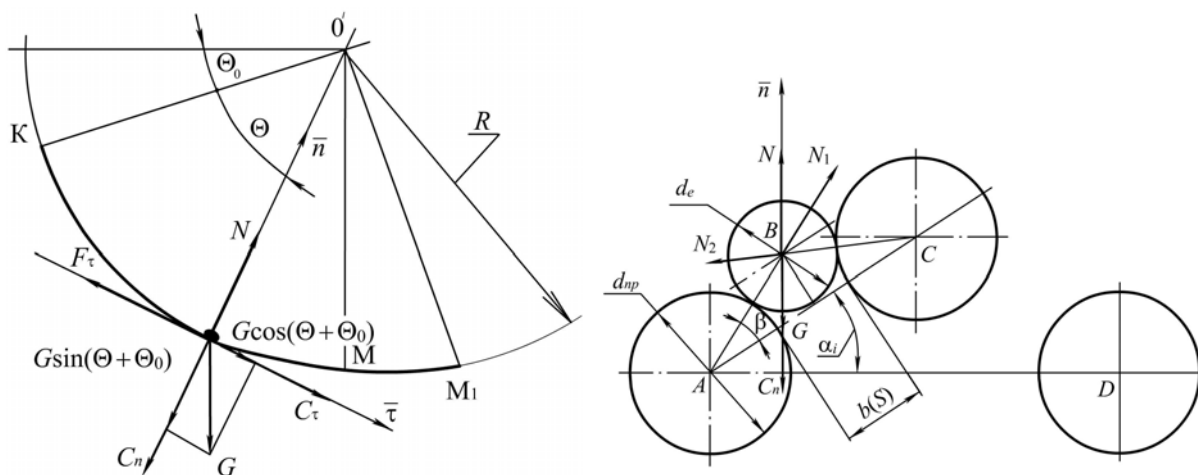


Рисунок 3 – Схема сил, які діють на частку на поверхні решета

Спроектуємо сили, які діють на частку, на вісь  $\tau$ .

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} - F_\tau + G \cos(\Theta + \Theta_0) = 0, \quad (1)$$

де  $F_\tau$  – проекція сил тертя на вісь  $\tau$ :

$$F_\tau = fN = f(N_1 + N_2), \quad (2)$$

де  $N_1, N_2$  – складові сили нормальної реакції поверхні решета на першому і другому пруткові, створені силою тяжіння і відцентровою силою

$$N_1 + N_2 = mg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + m \frac{\dot{S}^2}{R}. \quad (3)$$

З урахуванням (3) рівняння (2) запишемо у вигляді

$$F_\tau = fmg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + fm \frac{\dot{S}^2}{R}. \quad (4)$$

Тоді рівняння (1) можна записати у вигляді

$$m\ddot{S} + fmg \sin(\Theta + \Theta_0)(\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) + mf \frac{\dot{S}^2}{R} = mg \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (5)$$

Домножимо рівняння (5) на  $\frac{1}{mR}$  і отримаємо

$$\frac{\ddot{S}}{R} + f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0)[\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)] + f \frac{\dot{S}^2}{R} = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0). \quad (6)$$

Враховуючи, що  $S/R = \Theta$ , рівняння (6) запишемо у вигляді

$$\ddot{\Theta} = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0) - f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0) \times (\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)) - f \dot{\Theta}^2. \quad (7)$$

Ширину щілини (рис. 4) в будь-якому перерізі на довжині  $0 < S < \pi R/2$  можна визначити за формулою

$$b(s) = b_0 + \Delta b, \quad (8)$$

де  $\Delta b$  – приріст збільшення щілини по довжині решета.

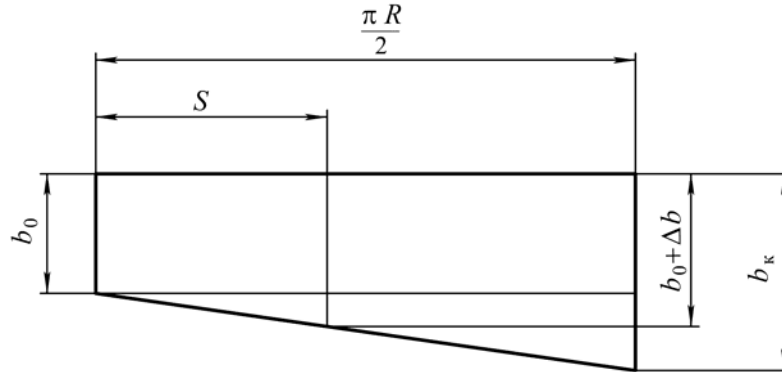


Рисунок 4 – Схема проекції щілини решета

Із рис. 4  $\Delta b/S = 2(b_k - b_0)/\pi R \Rightarrow \Delta b = 2S(b_k - b_0)/\pi R$ , де  $b_k$  – ширина щілини решета в кінцевій частині, тоді  $b(s) = b_0 + 2S(b_k - b_0)/\pi R$ , або

$$b(s) = b_0 + 2\Theta(b_k - b_0)/\pi. \quad (9)$$

Для визначення кута розхилу прутків  $\alpha$  у поперечній площині розглянемо рис. 1. Тут  $\alpha_i/S = 2\alpha_k/\pi R$ , де  $\alpha_i$  – значення кута розхилу прутків в будь-якому поперечному перерізі;  $\alpha_k$  – значення кута розхилу прутків в поперечному перерізі в кінцевій частині. Звідси  $\alpha_i = 2\alpha_k/\pi \cdot \Theta$ , позначимо  $2\alpha_k/\pi = k$ . Тоді

$$\alpha_i = k \cdot \Theta. \quad (10)$$

Кут  $\beta$  (рис. 3) створений прямими  $|AB|$  і  $|AC|$ , які з'єднують центри прутків і частки. Із рисунка видно, що

$$\cos \beta = \frac{r + b(s)/2}{r_e + r} = \frac{r + b_0/2 + \Theta(b_k - b_0)/\pi}{r_e + r}, \quad (11)$$

де  $r$  – радіус прутків решета;

$r_e$  – еквівалентний радіус частки.

Позначимо  $\frac{r + b_0/2}{r_e + r} = a$ ;  $\frac{b_k - b_0}{\pi(r_e + r)} = c$ , тоді формулу (11) можна записати у

вигляді:  $\cos \beta = a + c\Theta$ , очевидно що  $\sin \beta = \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}$ . Виконаємо перетворення функції  $\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta)$  з урахуванням попередніх зауважень:

$$\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta = \cos \alpha (\cos \beta + \sin \beta) + \sin \alpha (\cos \beta - \sin \alpha) = \cos k\Theta (a + c\Theta + \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}) + \sin k\Theta (a + c\Theta - \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}).$$

Остаточню рівняння (7) матиме вигляд:

$$\ddot{\Theta} + f \frac{g}{R} \sin(\Theta + \Theta_0) [\cos(k\Theta)(a + c\Theta + \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2}) + \sin(k\Theta)(a + c\Theta - \sqrt{1 - (a + c\Theta)^2})] + f\dot{\Theta}^2 = \frac{g}{R} \cos(\Theta + \Theta_0) \quad (12)$$

В запропонованому решеті відсутні пристрої для очищення щілин від часток, які в них можуть застрягнути, тому важливою задачею є виявлення умов, при яких виконується самоочищення. Виділення часток може статися тільки в тому місці щілини  $S_{\text{прох.}}$ , коли  $d_e = b(s) = b_0 + 2(b_k - b_0)S_{\text{прох.}}/\pi R$ , звідки  $S_{\text{прох.}} = \pi R(d_e - b_0)/2(b_k - b_0)$ , тоді

$$\Theta_{\text{прох.}} = \frac{\pi (d_e - b_0)}{2 (b_k - b_0)}. \quad (13)$$

Частки не застрягатимуть у щілинах решета при умові

$$F_\tau < G \cos(\Theta_{\text{прох.}} + \Theta_0) - m\dot{S}^2. \quad (14)$$

З урахуванням показника кінематичного режиму (критерію Фруда)  $K = \omega^2 R/g$ , та  $\dot{\Theta} = V/R$ , рішення рівняння (12) дозволяє встановити залежність зміни швидкості руху частки по поверхні решета в залежності від факторів, які в нього входять, за умови самоочищення (13) і коли частки не застрягатимуть у щілинах решета (14).

Аналіз рівняння (12) показує, що умови проходження часток крізь щілини решета, та коли вони в них не застрягають, виконуються при показникові кінематичного режиму на всій довжині решета  $K > 1$ . Найбільший вплив на показник кінематичного режиму виявляють радіус решета і початкова швидкість руху зерна. Підвищення  $K$  відбувається при збільшенні початкової швидкості, а збільшення радіусу решета приводить до його зниження.

Так для решета радіусом  $R=700$  мм (рис. 5) при швидкості  $V_0=4$  м/с вже в положенні  $\Theta = 57^\circ$  частка зупиняється, очевидно в такому випадку вона не тільки не виділиться через решітку, але може застрягнути в щілині.

В реальних умовах довжину решета необхідно вибирати із умов технологічної ефективності проходження процесу, на якій буде забезпечуватися проходження процесу сепарації при максимальній швидкості, яка обмежується травмуванням зернової суміші. Для досягнення максимального значення кінематичного режиму необхідно вибирати максимальні значення швидкості, при цьому радіус решета повинен бути мінімальним, який вибирають із умови забезпечення необхідної ефективності процесу сепарації.

Початкова ширина щілини вибирається із умов технологічної необхідності, а кінцеву можна приймати в межах  $b_n = b_0 + \Delta b$ , де  $\Delta b$  – величина класового проміжку, так як зміна ширини щілин решіт в межах величини класового проміжку суттєво не впливає на якість розділення зернових сумішей [10].

Збільшення діаметра прутків приводить до зменшення ймовірності просіювання, тому їх мінімальні значення необхідно вибирати із умови жорсткості решета.

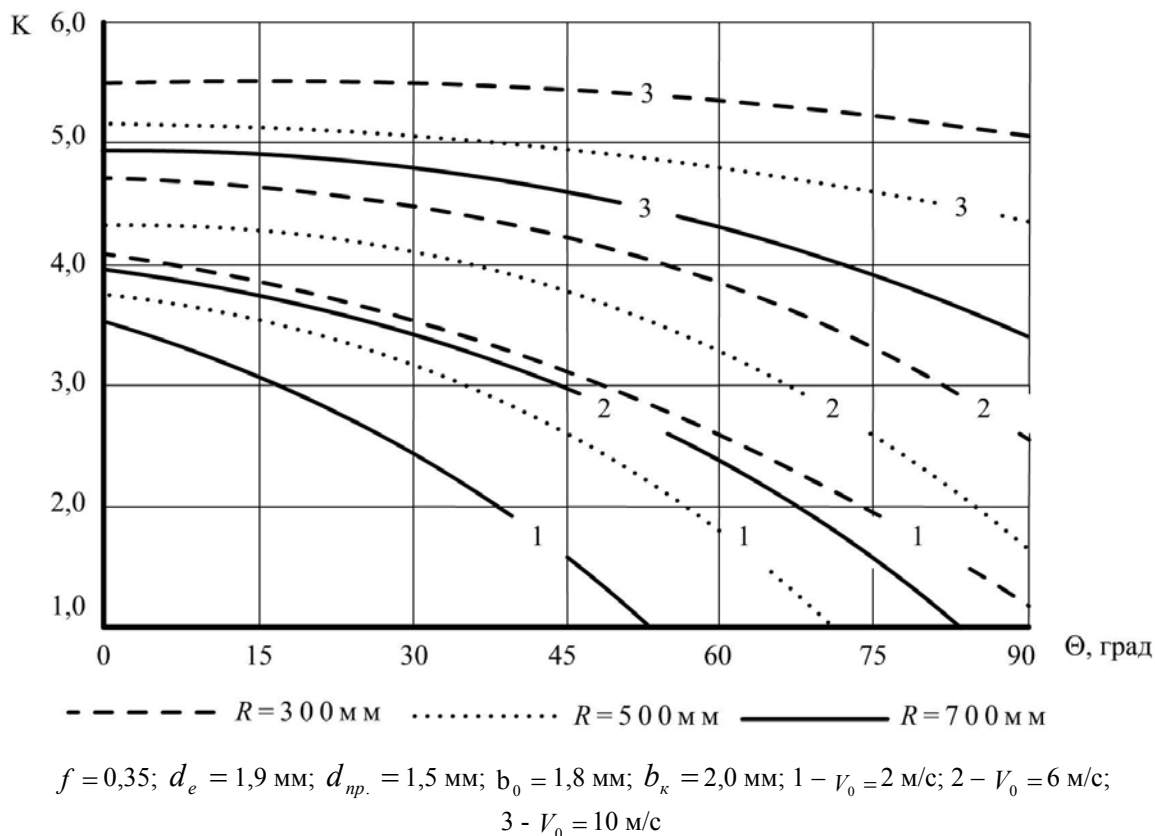


Рисунок 5 – Залежність зміни показника кінематичного режиму  $K$  по довжині решета при різних значеннях початкової швидкості руху часток  $V_0$  та радіуса решета  $R$

**Висновки.** В роботі запропоновано методику обґрунтування параметрів та визначення умов проходження часток зернової суміші крізь щілини решета виконаного з набору стержнів, що розширюються у бік руху оброблюваного матеріалу. Встановлено, що на показник кінематичного режиму найбільше впливають початкова швидкість руху оброблюваного матеріалу та радіус решета, зміною яких можна добиватися необхідної ефективності сепарації. Визначено умови проходження часток оброблюваного матеріалу крізь щілини решета та умови, коли вони в них не застрягають.

Випробування показали, що якість просіювання матеріалу на запропонованому решеті підвищується на 12-14 % порівняно з існуючими решетами.

## Список літератури

1. Сало В.М. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний ресурс] / В.М. Сало, С.І. Шмат, П.Г. Лузан // Международная научно-техническая интернет конференция «Задачи земледельческой механики в XXI веке», 2-10 ноября 2011 г. – Дослідницькое-Мелітополь, 2011. – С. 61-65. – Режим доступу до збірника доповідей: [www.tsaa.org.ua](http://www.tsaa.org.ua).
2. Авдеев Н.Е. Принципы построения модели идеального сепаратора / Н.Е. Авдеев // Докл. ВАСХНИЛ. – 1978. – №11. – С. 38-40.
3. Васильковский М.И. Проблемы совершенствования процессов очистки и сортирования зерна на решетках / М.И. Васильковский, П.Г. Лузан // Повышение технического уровня сельскохозяйственных машин. – К.: УМК ВО, 1991. – С. 31-36.
4. Сало В.М. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: [Монографія] / В.М. Сало, П.Г. Лузан, Д.В. Богатирьов. – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. – 148 с.

5. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдозрідження: [Монографія] / М.М. Петренко, В.М.Сало, Д.В. Богатирьов та ін.– Кіровоград: СДП ФО Лисенко В.Ф., 2013. – 212 с.
6. Розробка нової конструкції пневморешітної зерночисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора [Монографія] / В.М. Сало, С.М. Мороз, О.М. Васильковський та ін.– Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014. – 108 с.
7. Патент на корисну модель №31115 Україна, МПК В07В 13/00. Решето / Шмат С.І., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. та ін.; заявник і патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. – № 200713425; Заявл. 03.12.07; Опубл. 25.03.08. Бюл. №6. – 2 с
8. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: Практ. пособие / П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко.- К.: Изд. УАСХН, 1960. – 283 с.
10. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: Госсельхозиздат, 1955. – 764 с.

**Petro Luzan, Assos. Prof., PhD tech. sci., Olena Luzan, PhD tech. sci., Dmitry Petrenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Substantiation of sieve parameters for grain separation**

The objective of this work is to develop a method for substantiation of parameters along with determination of conditions for passing grain particles through the sieve openings, diameter of which is increasing toward work material movement and made with set of rods.

It has been defined that the biggest impact on kinematic movement parameters has the starting speed of work material movement and the radius of a sieve and by changing this parameters the required effectiveness for this type of sieves can be achieved. The conditions of passing of work material particles through sieve openings without blocking the openings were defined.

The increase of kinematic movement parameters takes place with the increase of starting speed, while increase of a radius has an opposite impact. The usage of offered sieves increase separation effectiveness by 12-14% compared to regular sieves.

**separator, sieve, separation, Froude number, grain separation, sieve openings blocking, grain**

Одержано 12.01.16

**УДК 631.3 - 351**

**О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук,  
С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: para5511@mail.ru*

## **Розрахунок надійності зернозбиральних комбайнів за критерієм оптимальності ходової системи**

В статті розглянуто процес роботи зернозбирального комбайна при виконанні технологічного процесу збирання при мінімальних втратах урожаю, Проведено аналіз використання імовірнісних критеріїв при розрахунку оптимальності коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин. Встановлені закономірності імовірнісного критерію оптимізації ходової системи, спектри вертикальних коливань корпусу ходової системи комбайна і крутильних коливань приводу ходової системи. Проведено тензометрирування комбайна в польових умовах.

**коливання, цільова функція, квантіль, імовірність, комбайн, жатка, молотарка, колесо**

© О.Й. Мажейка, В.М. Каліч, С.І. Маркович, 2016

**А.И. Мажейка, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук, С.И. Маркович, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

### **Расчет надежности зерноуборочных комбайнов по критерию оптимальности ходовой системы**

В статье рассмотрен процесс работы зерноуборочного комбайна при выполнении технологического процесса сбора при минимальных потерях урожая, проведен анализ использования вероятностных критериев при расчете оптимальности колебательных параметров мобильных сельскохозяйственных машин. Установлены закономерности вероятностного критерия оптимизации ходовой системы, спектры вертикальных колебаний корпуса ходовой системы комбайна и крутильных колебаний привода ходовой системы. Проведено тензометрирование комбайна в полевых условиях. **колебания, целевая функция, квантиль, вероятность, комбайн, жатка, молотилка, колесо**

**Постановка проблеми.** Створення конкурентної техніки агропромислового комплексу є актуальним завданням, рішення якого пов'язане з підвищенням технічного рівня машин. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення методу розрахунку і проектування ходових систем з урахуванням взаємного впливу коливальних процесів мобільних машин є актуальними.

В процесі роботи зернозбиральні комбайни повинні виконувати технологічний процес збирання при мінімальних втратах урожаю, забезпечувати плавність ходу машини для створення комфортних умов праці механізатора, при цьому витрати енергії на пересування машини повинні бути мінімальними.

**Аналіз останніх досліджень.** В зернозбиральному комбайні жатка з молотаркою з'єднана через похилу камеру. Пружини, встановлені на похилій камері врівноважують вагу жнивної частини і зусилля, що діють на копіювальні башмаки, зменшуються, що дозволяє полегшити копіювання рельєфу поля. Підйом жнивної частини в транспортне положення здійснюється до положення, коли жнивна частина являє одне ціле з молотаркою. На відміну від колісних сільськогосподарських тракторів, автомобілів та інших мобільних машин АПК, ходова система комбайна на робочих режимах повинна забезпечувати копіювання макро- і мікрорельєфу поверхні поля з метою уникнути втрати врожаю. Тому в ходовій системі комбайна практично заблоковані відповідні пружні елементи, які визначають плавність ходу машини. В зв'язку з цим в цій роботі поставлено завдання щодо вирішення проблеми оцінки надійності мобільних сільськогосподарських машин за критерієм оптимальності ходової системи зернозбирального комбайна.

**Постановка завдання.** Метою досліджень було підвищення працездатності ходової системи зернозбирального комбайна, яка складається з корпусу, ходових і керованих коліс, гідромеханічного приводу і дизельного двигуна. Предметом дослідження був розвиток досліджень взаємозв'язку ходової системи комбайна у вигляді сукупності агрегатів, які здійснюють пов'язані лінійні (корпус) і крутильні коливання.

**Методика досліджень.** В процесі досліджень проводилось уточнення динамічних моделей на основі диференціальних рівнянь Лагранжа та оцінка спроможності цих моделей. Було виконано спектральний аналіз динамічних процесів за результатами тензометрування. Проводились дослідження умов синхронізації коливань об'єктів, які можна описати диференціальними рівняннями з функціями зв'язку, а також застосовували імовірнісні методи при виборі коливальних параметрів.

При оптимізації коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин (зернозбиральних, силосозбиральних комбайнів, тракторів) використовуються інтегральні критерії [1], критерії ефективності [2], а також імовірнісні критерії [3].

**Результати досліджень.** Розсіювання коливальних параметрів машин і умов експлуатації привело до необхідності розгляду критеріїв оптимальності ходової

системи комбайна в імовірнісному аспекті і представити критерій оптимальності у вигляді мінімумів для імовірностей:

$$\begin{aligned} P\{D_R > [D_R]\} &= \min; \\ P\{D_{\dot{z}} > [D_{\dot{z}}]\} &= \min; \\ P\{D_{\varphi} > [D_{\varphi}]\} &= \min. \end{aligned} \tag{1}$$

де  $D_R = \sum \sigma_{Ri}^2$  – цільова функція агротехніки або дисперсія навантажень на башмаках жнивarki;

$$D_{\dot{z}} = \sum \bar{z}_i^2$$
 – цільова функція плавності ходу або дисперсія вертикальних

прискорень корпусу комбайну;

$$D_{\varphi} = \sum c_{\varphi i}^2 \varepsilon_i^2$$
 – цільова функція енергетики або дисперсія крутного моменту в

приводі ходової системи;

$$[D_R], [D_{\dot{z}}], [D_{\varphi}]$$
 – допустимі значення цільових функцій.

Завдання оптимізації в ймовірнісному аспекті було представлено у вигляді вибору коливальних параметрів корпусу ходової системи, при яких загальний критерій оптимізації цієї системи при прийнятих параметрах можна представити як:

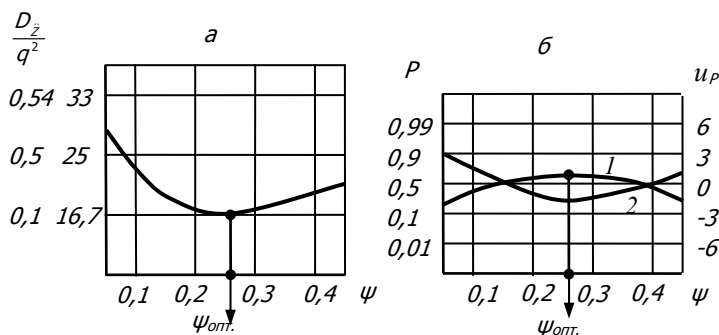
$$u_p = \frac{1}{V_R} \left\{ \frac{D_p}{\bar{D}_R} - 1 \right\} + \frac{1}{V_{\dot{z}}} \left\{ \frac{D_{\dot{z}}}{\bar{D}_{\dot{z}}} - 1 \right\} + \frac{1}{V_{\varphi}} \left\{ \frac{D_{\varphi}}{\bar{D}_{\varphi}} - 1 \right\} = \max, \tag{2}$$

де  $\bar{D}_R, \bar{D}_{\dot{z}}, \bar{D}_{\varphi}$  – математичні очікування,

$V_R, V_{\dot{z}}, V_{\varphi}$  – коефіцієнти варіації цільових функцій, в припущенні, що цільові функції незалежні.

За статистичними характеристиками розподілу цільової функції і її допустимого значення визначався квантиль нормального розподілу [4].

На рис. 1 представлений графік цільової функції для транспортного режиму комбайна. Параметр, що оптимізується – відносний коефіцієнт загасання вертикальних коливань корпусу  $\psi$ , обумовлений втратою енергії коливань в шинах ходових коліс комбайна.



1 - квантиль  $u_p$ ; 2 - вірогідність  $1 - P(u_p)$

Рисунок 1 – До визначення локального оптимуму  
Загальний критерій оптимальності має вигляд:

$$P\{D_R > [D_R]; D_{\dot{z}} > [D_{\dot{z}}], D_{\phi} > [D_{\phi}]\} = \min. \quad (3)$$

Для вирішення завдання локального оптимуму представимо цільову функцію плавності ходу, наприклад, у вигляді елементарної випадкової функції, що є добутком невідповідної функції  $\bar{D}_{\dot{z}}$  на випадкову величину  $\varepsilon$ :

$$D_{\dot{z}} = \bar{D}_{\dot{z}} \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

де  $\bar{D}_{\dot{z}}$  – математичне очікування цільової функції;

$\varepsilon = 1 + u_p V_{\dot{z}}$  – нормально розподілена випадкова величина, що має середнє значення, рівне одиниці, і коефіцієнт варіації, рівний  $V_{\dot{z}}$  (вертикальних прискорень молотарки).

Параметри статистичних розподілів вертикальних прискорень зернозбиральних комбайнів і самохідних шасі приведені [3], по цих розподілах і значенні цільової функції, що допускається, які визначали квантілі нормального розподілу

$$u_p = \frac{1}{V_{\dot{z}}} \left\{ \frac{[D_{\dot{z}}]}{\bar{D}_{\dot{z}}} - 1 \right\}, \quad (5)$$

і завдання оптимізації було представлено у вигляді вибору коливальних параметрів молотарки, при яких  $u_p = \max$ .

По відомих таблицях [4] знаходили вірогідність  $P(u_p = \max)$ , що відповідає виконанню умови

$$P\{D_{\dot{z}} > [D_{\dot{z}}]\} = \min. \quad (6)$$

Наведено приклади використання імовірнісних критеріїв при розрахунках оптимальності коливальних параметрів ходових систем комбайнів українського виробництва «СКИФ».

На рис.1а представлений графік цільової функції  $D_{\dot{z}}$  для молотарки комбайна при роботі машини в транспортному режимі. Параметром, що оптимізується, тут є відносний коефіцієнт загасання вертикальних коливань молотарки  $\psi$ , обумовлених втратою енергії коливань в шинах ходових коліс. На графіку відмічено значення  $\psi_{opt}$ . Задаємося тепер  $[D_{\dot{z}}] = 4 \frac{M^2}{cm^4}$  з умови  $\ddot{z}_{max} \leq 0,2q$  згідно санітарних норм для операторів на обмеження вібрацій на робочому місці механізатора, тому перейдемо до імовірнісного критерію (5). З графіка (рис.1,б) крім значень  $\psi_{opt}$  було встановлено, що є вірогідністю перевищення заданого рівня вібрації. Тому оптимізація тільки по  $\psi_{opt}$  є неефективною, оскільки в даному випадку при  $1 - (u_p = \max) = 0,38$ . Тому оптимізація тільки по  $\psi_{opt}$  є не ефективною, тому що при  $\psi = \psi_{opt}$  у 38% зі всього парку машин  $D_{\dot{z}} > [D_{\dot{z}}]$ , що по умові дорівнює  $\ddot{z}_{max} > q$  і не відповідає умові на обмеження вібрацій робочого місця машини.

На рис.1б представлені результати розрахунків, пов'язані з оптимізацією жорсткості шин ходових коліс комбайна. В цьому випадку має місце завдання знаходження локального оптимуму з обмеженнями.

В процесі експерименту варіювалися: швидкість руху комбайна, ґрунтові фони, ступінь завантаження бункера (рис.2). За показниками тензодатчиків отримували інформацію про крутні моменти на основних валах приводу і на півосях ходового колеса. Для вимірювання вертикальних прискорень корпусу моста ходових коліс використовувався тензометричний акселерометр АТ-2. В якості підсилювальних і реєструючих пристроїв використовувалися тензометричні підсилювачі 8АНЧ - 7М і

магнітографи фірми TESLA. У результаті проведення випробувань були отримані осцилограми вихідних характеристик та напружень. Приклад отриманих осцилограм представлений на рис. 3



а – комбайн «СКИФ-290»; б-ведучі мости комбайна «СКИФ»

Рисунок 2 – Фото комбайна українського виробництва «Скіф»

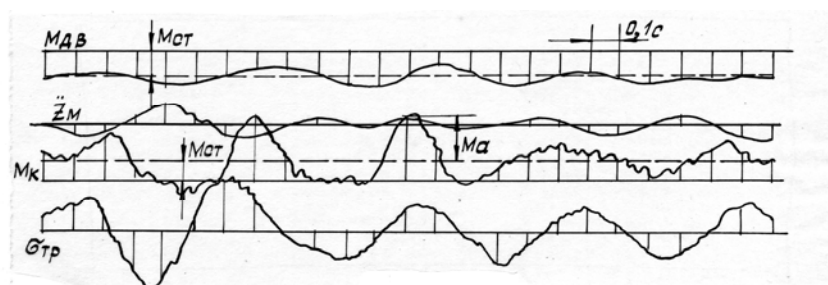


Рисунок 3 – Осцилограми отриманих вихідних характеристик ( $M_0$ ,  $M_k$ ,  $\ddot{z}_M$ ) при русі комбайна по ґрунтовій дорозі зі швидкістю 5,06 м / с (III передача), а також нормальні напруження в корпусі бортового редуктора ( $\sigma_{тр}$ ).

**Висновки.** Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що спектри вертикальних коливань корпусу ходової системи комбайна і крутильних коливань приводу ходової системи знаходяться в одному частотному діапазоні ( $\omega = 6 \div 15 \text{с}^{-1}$ ). Це призводить до виникнення синхронізації коливань приводу ходової системи і корпусу на транспортних режимах роботи машини. При наявності навіть слабких взаємодій починаються коливання з однаковими частотами за певних фазових співвідношень між ними.

Використання імовірнісного критерію оптимізації для такого завдання дозволило встановити, що при зниженні жорсткості шин ходових коліс на  $5 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$  вірогідність перевищення  $D_{\ddot{z}}$  знижується від  $1 - P(u_p) = 0,0338$  до  $1 - P(u_p) = 0,1$ . Т.

Визначено ступінь ідентичності прийнятих моделей і реальних об'єктів. Дисперсна міра ідентичності отримана і задовольняє відомим обмеженням на адекватність опису.

## Список літератури

1. Смирнов Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики / Н.В.Смирнов, И.В.Думин-Барковский. – М.: Наука, 1965. – 341 с.
2. Анилович В.Я. Статичная теория поддресоривания машино-тракторных агрегатов: автореф. дис. д-ра наук. – М., 1967. – 232 с.
3. Гриньков Ю.В. Основные принципы инженерного расчета упругих колебаний конструкций зерноуборочных комбайнов: дис. д-ра наук. – Волгоград, 1971.

4. Павленко І.І. Оптимальність параметрів ходових систем сільськогосподарських машин / І.І. Павленко, М.В. Сторожук, О.Б. Чайковський // Зб.наук.праць КНТУ. Техніка у сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматика. – 2008. – Вип. 21. – С.244-246.

**Oleksandr Mazheyka, Prof., PhD tech. sci., Sergiy Markovich, Assos. Prof., PhD tech. sci., Viktor Kalich, Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Calculation of reliability of combine harvesters for optimality criterion running system**

This article describes how the work of a combine harvester when the collection process with minimum loss of crop, use of probabilistic analysis criteria for calculating the optimum vibration parameters of mobile agricultural machinery. The laws of probability criterion optimizing suspension systems, spectra of the vertical oscillations of the body, and suspension systems combine torsional vibrations about the running system. Locations tenzometriruvannya harvester on field trials

The article gives the analysis of possible criteria of application when accounting vibratory parameters mobile agricultural machines optimization.

**fluctuations, the objective function, quantile, probability, harvester, reaper, thresher, truck**

Одержано 07.11.15

**УДК 631.331**

**С.А. Мартиненко, доц., канд. техн. наук, Т.М. Ауліна, доц., канд. техн. наук, Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: adu2006@inbox.ru*

## **Теоретичне обґрунтування параметрів вібраційного висіву**

В статті розглянуто типи висівних апаратів зернових сівалок. Проаналізовано їх переваги та вади. Запропоновано конструкцію вібраційного висівного апарату та методику первинних розрахунків його основних параметрів – частоти та напрямку коливань. Побудовано графік визначення режиму роботи апарату в залежності від цих параметрів.

**висівний апарат, вібрація, параметри вібрації, вібраційний висів**

**С.А. Мартиненко, доц., канд. техн. наук, Т.М. Ауліна, доц., канд. техн. наук, Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кіровоград, Украина*

#### **Теоретическое обоснование параметров вибрационного высева**

В статье рассмотрены типы высевающих аппаратов зерновых сеялок. Проанализированы их преимущества и изъяны. Предложена конструкция вибрационного высевающего аппарата и методика предварительных расчетов его основных параметров - частоты и направления колебаний. Построен график определения режима работы аппарата в зависимости от этих параметров.

**высевающий аппарат, вибрация, параметры вибрации, вибрационный высев**

**Постановка проблеми.** Розпушування та транспортування сипких продуктів за допомогою коливань відомо дуже давно. Простота конструкції та ефективність при використанні поширило цю технологію в багатьох галузях техніки. Але, в основному, коливання застосовують для транспортування продуктів та виробів [1, 2]. Використання вібрацій при рядовому висіві насіння до цього часу на практиці не використовувалось, хоча простота конструкції в порівнянні з пневматичним висівом очевидна.

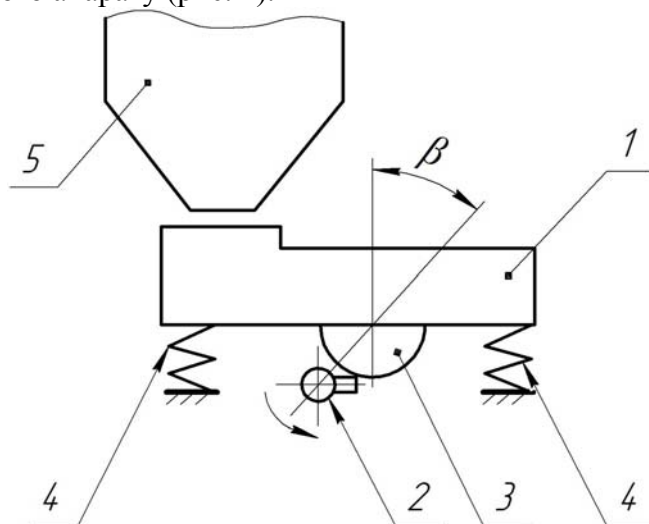
© С.А. Мартиненко, Т.М. Ауліна, Д.Ю. Артеменко, 2016

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стабілізація та вирівнювання потоку твердих тіл, його спрямування в потрібному напрямку за допомогою коливань детально розглядалося авторами [3,4]. Але в галузі сільського господарства ці процеси використовуються, здебільше для сепарації та транспортування насіння. Нами запропоновано застосування вібрацій для висіву насіння шляхом утворення сталого потоку з подальшим розподілом на окремі потоки.

Рядовий висів зернових культур потребує сталості потоку насіння що виходить з висівного апарату, тобто потік повинен йти без розривів та пульсацій. Усі наступні елементи сівалки яки забезпечують транспортування насіння у борозну (насіннепровід, сошник) в кращому випадку зберігають сталість створеного потоку. Тому висівний апарат, який формує потік є найбільш відповідальною частиною сівалки.

Класичним та найбільш поширеним є котушковий висівний апарат але особливості його конструкції не дозволяють збільшувати ширину захвату сівалки звичайним збільшенням їх кількості. Частковим рішенням цієї проблеми було створення зчіпок з декількох сівалок. З часом були розроблені сівалки з централізованим пневматичним висівним апаратом. Така конструкція дозволяла значно збільшити ширину захвату без значного ускладнення конструкції, але деякі вимоги Агротехнічних вимог. зокрема нерівномірність висіву між апаратами не завжди витримувались.

З урахуванням цих вад та переваг нами було запропоновано конструкцію вібраційного висівного апарату (рис. 1).



1 – транспортуєчий жолоб; 2 – активний віброзбудник; 3 – реактивний віброзбудник;  
4 – віброізолятор; 5 – бункер

Рисунок 1 – Структурна схема вібраційного висівного апарату

Працює запропонований висівний апарат таким чином. Насіння самопливно поступає з бункера на транспортуєчий жолоб, закріплений на двох віброізоляторах. Активний віброзбудник при обертанні передає імпульс на реактивний віброзбудник, який закріплено на жолобі що транспортує. Причому активний віброзбудник може змінювати своє положення відносно реактивного віброзбудника, змінюючи кут вібрації.

**Постановка завдання.** Спираючись на вищенаведене визначено мету даної роботи – теоретичне обґрунтування вібраційних параметрів та режиму роботи запропонованого висівного апарату. Зокрема, амплітуду коливань та їх напрям, що забезпечить сталий та рівномірний рух потоку насіння.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо фізико-механічний процес створення вібраційного руху.

Диференціальні рівняння руху частки у висях  $xOy$ , жорстко пов'язаних з поверхнею, що вібрає мають вид:

$$m \ddot{x} = mA\omega^2 \cos \beta \sin \omega t - mg \sin \alpha + F; \quad (1)$$

$$m \ddot{y} = mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t - mg \cos \alpha + N. \quad (2)$$

Вісь  $Ox$  спрямована вздовж, а вісь  $Oy$  – впоперек поверхні (рис. 2).

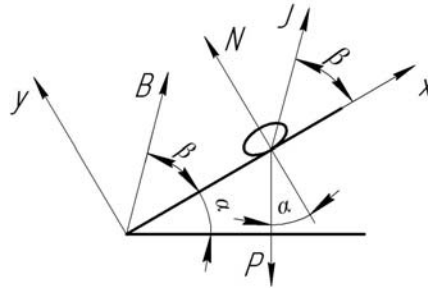


Рисунок 2 – Схема сил що діють на об'єкт транспортування

Поперечна складова сили інерції, що переносить буде:

$$J = mA\omega^2 \sin \beta,$$

де  $m$  – маса частки;

$A$  – амплітуда коливань;

$\omega$  – частота коливань;

$\beta$  – кут нахилу траєкторії коливань відносно поверхні (кут вібрації).

Поперечна складова сили тяжіння:

$$P = mg \cos \alpha;$$

де  $\alpha$  – кут нахилу поверхні до горизонту;

$g$  – прискорення вільного падіння.

$N$  – нормальна реакція поверхні,  $F$  - сила опору руху частки (сила сухого тертя).

при  $\dot{x} \geq 0$  
$$F = -fN, \quad (3)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя ковзання частки по поверхні.

$$N = N(t) = mg \cos \alpha - mA\omega^2 \sin \beta. \quad (4)$$

Частка буде рухатися без відриву від поверхні (режим «без підкидування») при

$$N(t) \geq 0,$$

тобто

$$\Omega = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g \cos \alpha} \leq 1. \quad (5)$$

Для горизонтальної площини ( $\alpha = 0$ )

$$\Omega = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g} \leq 1, \quad (6)$$

де  $\Omega$  – параметр перевантаження.

Режим «з підкидуванням» визначиться з умови польоту частки, тобто коли нормальна реакція  $N(t) = 0$ . Тоді параметр перевантаження

$$\Omega = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g} \geq 1. \quad (7)$$

Найбільша середня швидкість руху частки «без підкидування» буде при  $\Omega = 1$ , тобто для граничного стану

$$\Omega = \frac{A\omega^2 \sin \beta}{g} = 1. \quad (8)$$

Звідси можна визначити амплітуду коливань при заданому значенні кута вібрації, або навпаки – кут вібрації при заданій амплітуді.

Досліди А. Мачкаріна [5] показали, що вібраційний висівний апарат, що працює в режимі «без підкидування» дає пульсацію потоку насіння. Тому він запропонував на виході з апарату вирівнювач потоку. Це ускладнює конструкцію. Крім того, для визначення найбільшої середньої швидкості руху насіння взагалі рекомендується користатись експериментальною номограмою [6] оскільки різноманітність фізико-механічних властивостей насіння не дає можливість достатньо точно визначити цей параметр теоретично.

Спираючись на ці дані нами було вирішено використовувати режим «з підкидуванням». Найбільша середня швидкість в цьому режимі спрощено визначається за рекомендацією [7]:

$$V \approx A\omega \cos \beta. \quad (9)$$

Основним показником для визначення параметрів вібраційного висівного апарату рядової сівалки буде норма висіву. В якості базової, обираємо сівалку СЗ-3,6. Максимальна норма висіву цієї сівалки – 250 кг/га. Швидкість сівалки – 11,7 км/г. При таких значеннях, об'ємна швидкість потоку насіння через один висівний апарат, з урахуванням об'ємної масі пшениці  $650 \text{ кг/м}^3$  –  $810 \text{ кг/м}^3$  складе  $20 \text{ см}^3/\text{с}$  –  $25 \text{ см}^3/\text{с}$ . Параметри лотка що транспортує приймаємо такі: форма лотка – прямокутник. Ширина  $b = 4$  см (ширина котушки висівного апарату сівалки СЗ-3,6), висота -  $h \geq 2A$ . Причому бажано приймати  $A = 2l_{\max}$  [8], де  $l_{\max}$  - найбільший розмір частки що транспортується. Найбільший розмір зернини пшениці є довжина, яка, в середньому, складає 5 мм, приймаємо  $A = 10 \text{ мм} = 1 \text{ см}$ . Висота лотка, відповідно,  $b = 2A = 2 \text{ см}$ . Площа поперечного перерізу лотка –  $S_{\text{лотка}} = 8 \text{ см}^2$ . Лінійна швидкість руху потоку насіння складе:

$$V_n = \frac{q}{S}, \quad (10)$$

де  $q$  – об'ємна швидкість потоку насіння через один висівний апарат.

Відповідно до прийнятих величин  $q$ , лінійна швидкість руху потоку насіння буде  $V_n = 2,51 \text{ см/с}$  –  $3,125 \text{ см/с}$ . Тоді частота коливань лотка визначиться з (9).

$$\omega = \frac{V_n}{A \cos \beta} k, \quad (11)$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт що враховує фізико-механічні властивості тіл що взаємодіють. А саме – коефіцієнт внутрішнього тертя насіння, коефіцієнт тертя насіння

по поверхні лотка. По рекомендації [4]  $k=1,1-1,3$ . Приймаємо  $k = 1,2$ . В формулі (11) в якості змінної величини візьмемо кут вібрації  $\beta$ . Тоді частота коливань що визначається за цією формулою складе ряд значень, зведених в таблиці 1 для  $V_n = 2,51$  см/с, та 2 для  $V_n = 3,125$  см/с.

Таблиця 1 – Частота коливань лотка при заданих кутах вібрації

$\beta, \text{град.}$	10	20	30	40	50	60	70	80
$\omega, \text{с}^{-1}$	3,1	3,24	3,5	3,9	4,7	6,02	8,8	17,3

Таблиця 2 – Частота коливань лотка при заданих кутах вібрації

$\beta, \text{град.}$	10	20	30	40	50	60	70	80
$\omega, \text{с}^{-1}$	3,8	4,0	4,33	4,9	5,8	7,5	11,0	21,6

Виходячи з максимальних значень частоти коливань та кута вібрації, визначимо по формулі (8) параметр перевантаження  $\Omega=0,47$ . Таке значення параметру перевантаження відповідає режиму «без підкидування» [9]. Визначимо величини частоти коливань та кута вібрації для граничного режиму, тобто для  $\Omega = 1$  и зведемо результати в таблицю 3.

Таблиця 3 – Частота коливань лотка при заданих кутах вібрації для граничного режиму

$\beta, \text{град.}$	10	20	30	40	50	60	70	80
$\omega, \text{с}^{-1}$	75	53,53	44,27	39,05	35,77	33,64	32,29	31,55

Графічно зобразивши величини частоти коливань лотка при заданих кутах вібрації для граничного режиму з таблиці 3 отримуємо криву, що розподіляє співвідношення параметрів  $\beta$  та  $\omega$  на режими «без підкидування», та «з підкидуванням» (рис.3). Для точок, розташованих під кривою співвідношення частоти коливань лотка та кута вібрації забезпечує режим «без підкидування». Над кривою - «з підкидуванням» [10].

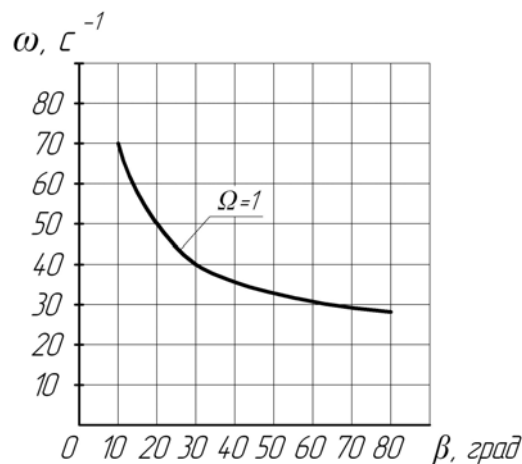


Рисунок 3 – Розподіл параметрів відносно параметру перевантаження

Використовуючи запропонований графік можна визначити необхідні значення параметрів вібрації висівного апарату що проектується с урахуванням необхідного режиму роботи.

Прийняті припущення, різноманітність фізико-механічних властивостей насіння в межах одного сорту та наявність емпіричних коефіцієнтів потребують експериментальних досліджень для прийняття кінцевих рішень щодо параметрів та режимів роботи вібраційного висівного апарату.

**Висновок.** В результаті проведеної роботи нами було визначено наступне. Розроблена принципова схема вібраційного висівного апарату рядового висіву. Проведено теоретичні дослідження основних параметрів та режимів роботи апарату. Запропоновано графік залежності режиму роботи висівного вібраційного апарату від співвідношення частоти коливань лотка та кута вібрації та надані рекомендації відносно подальших досліджень.

## Список літератури

1. Співаковський А.О., Гончаревич И.Ф. Вибрационные и волновые транспортирующие машины. – М.: Наука, 1983. – 288 с
2. Врублевський Г.Й. Наближені обчислення швидкості вібротранспортування та кута зсуву фаз при еліптичних коливаннях // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – № 679. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2010. – С. 45–48.
3. Потураев В.Н., Франчук В.П., Надутый В.П. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах: Монография. – Днепропетровск, 2002. – 190 с.
4. Блехман И.И. Вибрационное перемещение/ И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. М.: Наука, 1964. – 410 с.
5. Мачкарин А.В. Повышение эффективности выращивания зерновых с разработкой и обоснованием оптимальных параметров сеялки прямого посева: дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.20.01/ Мачкарин Александр Викторович. – Мичуринский аграрный университет. – Мичуринск., 2006. – 242с.
6. Вибрации в технике. Вибрационные машины и процессы.: справочник. М.: Машиностроение, 1981,- Т4. – 152с.
7. Дунаевецкий А.В. Оптимальный синтез параметров безотрывного вибротранспортирования // Технология судостроения и судоремонта. – Калининград: Изд. Калининград. судостроит. ин-та. – 1968. – С. 50–56с.
8. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах/ Петр Михайлович Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1998.-199с
9. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 248с.
10. В.А. Щигель, В.С. Шенбор. Про співвідношення лінійної та кутової амплітуд коливань у двомасній системі.// Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Республіканський міжвід. наук-техн. зб. –Львів: Видавництво «Світ», 1992. №30. С.59-63

**Sergiy Martinenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Tetyana Aulina, Assos. Prof., PhD tech. sci., Dmitry Artemenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

### **Theoretical ground of parameters of the oscillation sowing**

Using of vibrations for the ordinary sowing of seed to this time not used in practice, although simplicity of construction as compared to the pneumatic sowing is obvious.

In the article the new construction of oscillation seedmeter is offered and the theoretical calculations of basic his office hours are conducted. Worked out differential equations, describing motion of seed in the process of oscillation motion. On the basis of agrotechnical requirements the parameters of work are expected, namely, frequencies and directions of vibrations, providing the set process of portage of seed. The analysis of different terms of work of vehicle is conducted.

As a result was certainly following. On the basis of the conducted theoretical researches certainly parameters and modes of operations of the offered vehicle. The chart of dependence of the mode of operations of sowing oscillation vehicle from correlation of frequency of vibrations of tray and corner of vibration and given recommendations is made in relation to subsequent researches.

**seedmeter, vibration, parameters of vibration, oscillation sowing**

Одержано 5.10.15

УДК 631.365.22+621.317

**С.І. Осадчий, проф., д-р техн. наук, М.О. Федотова, асист., І.О. Скриннік, доц., канд. техн. наук, І.А. Березюк, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*

*E-mail: Skrynnik\_2002@ukr.net*

## Про вибір датчика вологості при неповних вимірах вихідних сигналів зерносушарки з киплячим шаром

Стаття присвячена методиці вибору системи вимірювання однієї з вихідних координат багатовимірного об'єкта – зерносушарки з киплячим шаром каскадного типу. Така методика покладена в основу для розрахунку структури і параметрів спостерігача, який, вимірюючи лише одну з вихідних координат зерносушарки, дає найкращу оцінку іншого – висоти киплячого шару на каскадах-решетах.

**киплячий шар, зерносушарка каскадного типу, матриця передаточних функцій, система вимірювання, датчик вологості, система спостереження**

**С.И. Осадчий, проф., д-р техн. наук, М.А. Федотова, ассист., И. А. Скринник, доц., канд. техн. наук, И.А. Березюк, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

**О выборе датчика влажности при неполных измерениях выходных сигналов зерносушилки с кипящим слоем**

Статья посвящена методике выбора системы измерения одной из выходных координат многомерного объекта – зерносушилки с кипящим слоем каскадного типа. Данная методика положена в основу расчета структуры и параметров наблюдателя, который, измеряя только одну из выходных координат, даёт наилучшую оценку другой – высоты кипящего слоя на каскадах-решетах.

**кипящий слой, зерносушилка каскадного типа, матрица передаточный функций, система измерения, датчик влажности, система наблюдения**

**Вступ.** Найбільш відповідальна операція післязбиральної обробки зернового матеріалу – це його сушіння. Жорсткі вимоги до цього процесу породили постійне вдосконалення відомих та винайдення нових конструкцій зерносушарок [1]. На сьогоднішній день ефективність сушіння зерна в киплячому (зваженому, псевдозрідженому) стані беззаперечний факт. Це і було підтверджено нашими експериментами на новій конструкції зерносушарки [2], зовнішній вигляд якої показаний на рис. 1, в основу якої покладено принцип киплячого шару.

**Постановка проблеми.** Складність процесів, що проходять в період сушіння у зваженому стані, викликало необхідність у застосуванні більш сучасних підходів для ідентифікації самого об'єкту та подальшої розробки оптимальної системи керування ним. Інтенсифікація сушіння в киплячому шарі полягає перш за все у підтриманні самої «киплячості», тобто висоти матеріалу, яку необхідно стабілізувати. Адже процес буде ефективним тоді і тільки тоді, коли значення зміни висоти відповідатиме певному визначеному діапазону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз джерел показав, що на сьогодні існує велика кількість статичних засобів вимірювання і порозності, і густини дисперсного матеріалу різними методами, головним недоліком яких є порушення гідродинаміки шару в місці заміру [3] і неможливість застосування їх в динаміці. Тому нами був запропонований новий підхід для визначення зміни висоти шару дисперсного

матеріалу  $\omega$  безпосередньо в камері сушіння за зміною його кінцевої вологості  $\omega$  [4]. Найбільш широкого застосування в елеваторній галузі отримали датчики вологості, принцип дії яких базується на діелькометричному способі вимірювання вологості або на вимірюванні величини послаблення СВЧ енергії вологим матеріалом. Динаміка цих датчиків та їх власні шуми різні, тому і виникає задача правильного обрання потрібного, від метрологічних характеристик якого і буде залежати достовірність результатів оцінювання системою спостереження за умови неможливості вимірювання висоти матеріалу безпосередньо в камері сушіння.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд конструкції зерносушарки з киплячим шаром каскадного типу (ЗКШ)

**Постановка завдання.** Припустимо, що динаміка ЗКШ описується системою лінійних диференціальних рівнянь виду [5]:

$$P^{-1}x = M \cdot u + \psi, \quad (1)$$

де  $x$  – вектор, компоненти якого є висота киплячого шару  $V$  та кінцева вологість матеріалу  $W$ ;

$u$  – вектор сигналів керування, до складу якого входять зміна положення шибери  $sh$  та температура теплоносія  $T$ ;

$P$  – поліноміальна матриця  $[2 \times 2]$ , що характеризує динаміку зміни  $V$  та  $W$ :

$$P = \begin{bmatrix} (s + w_2) & 0 \\ 0 & (s + p_2) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $w_2, p_2$  – змінні величини, значення яких залежить від обраного каскаду;

$M$  – матриця, яка характеризує вплив зміни керуючих дій на вихідні координати ЗСУ:

$$M = \begin{bmatrix} \alpha_1(\Delta) \cdot (s + w_1(\Delta)) e^{-s \cdot \tau_{shV}(\Delta)} & 0 \\ \alpha_2(s - \varphi) e^{-s \cdot \tau_{shW}} & \alpha_3(s + \varphi) e^{-s \cdot \tau_{TW}} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Нехай вимірювання вологості дисперсного матеріалу може бути здійснене за допомогою декількох датчиків вологості: одного, принцип дії якого базується на

дієлькометричному, інший – на базі мікрохвильового методу вимірювання з передаточними функціями  $K_1$  та  $K_2$  відповідно:

$$K_1 = \frac{0.5}{(8s+1)}; \quad (4) \quad K_2 = 0,0625, \quad (5)$$

та власними шумами вимірювання з нульовим математичним очікуванням, спектральна щільність яких відповідно:

$$S_{\varphi 1} = \frac{1.5^2}{3\pi}; \quad (6) \quad S_{\varphi 2} = \frac{0.5^2}{3\pi}. \quad (7)$$

Для оцінювання висоти киплячого шару до системи включений оптимальний багатовимірний спостерігач з матрицею передаточних функцій  $F_1$  або  $F_2$  [6]:

$$F_1 = \begin{bmatrix} \frac{-\alpha_{11}(s-a_1)}{(s^2+2\cdot d_1\cdot f_1\cdot s+f_1^2)} \\ \frac{\alpha_{21}(s+a_3)}{(s^2+2d_2f_2s+f_2^2)} \end{bmatrix} \quad (8) \quad F_2 = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_{12}}{(s+g)} \\ \frac{\alpha_{22}}{(s^2+2d_2c_2s+c_2^2)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

так, як це показано на рис. 2, на виході якого отримано вектор оцінки  $x'$  виду  $x' = \begin{bmatrix} v' \\ w' \end{bmatrix}$ ,

де  $v'$  – оцінка зміни висоти дисперсного матеріалу по каскадам;  
 $w'$  – оцінка зміни кінцевої вологості дисперсного матеріалу.

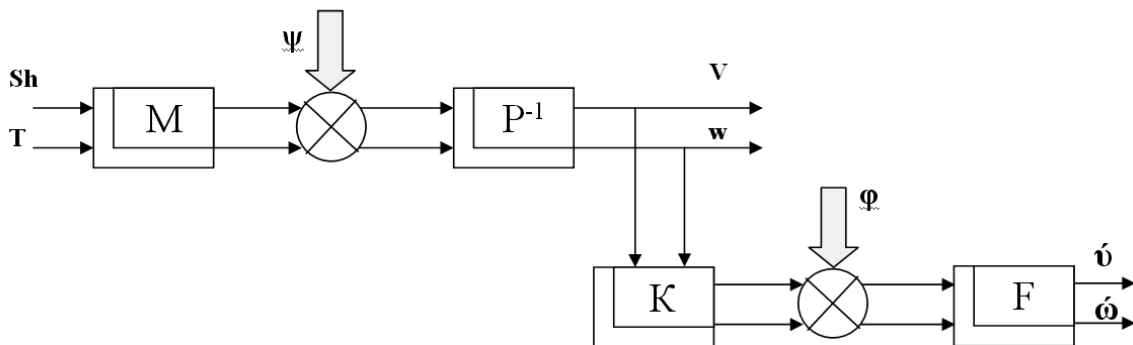


Рисунок 2 – Структурна схема системи оцінювання динаміки об'єкта при неповному вимірюванні вихідних сигналів

Тоді задача полягає у тому, щоб визначити той клас датчика вологості, застосування якого у оптимальній системі спостереження, забезпечить вищу якість оцінювання висоти дисперсного матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** У відповідності з базовим методом дослідження системи такого класу [8] алгоритм рішення поставленої задачі складається з виконання наступних операцій:

- сформувати матрицю передаточних функцій датчиків вологості  $K_1^*$  та  $K_2^*$ ;
- використовуючи базовий алгоритм [7] формуємо матрицю спектральної щільності  $S_{ee}(s)$  за формулою:

$$S_{ee} = (F_i \cdot K_i^* - E_{2 \times 2}) P_i^{-1} S_{\psi\psi} \cdot P_i^{-1} (F_i \cdot K_i^* - E_{2 \times 2})^* + F_i \cdot S_{\varphi\varphi} \cdot F_i^*, \quad (10)$$

де  $S'_{\psi\psi}$  – спектральна щільність збурень, що діють на ЗСУ:

$$S'_{\psi\psi} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$E_{2 \times 2}$  – одинична квадратна матриця розмірами [2x2];

– визначаємо дисперсію погрішностей оцінювання висоти дисперсного матеріалу та вологості згідно виразів:

$$D_{v'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{ee_{(1.1)}}(s) ds, \quad (12) \quad D_{w'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{ee_{(2.2)}}(s) ds, \quad (13)$$

- порівняти знайдені дисперсії на відповідних каскадах;
- обрати той датчик вологості, який забезпечує найкращі показники оцінки системи спостереження.

Так як експериментально зняті сигнали вхідних і вихідних параметрів являють собою стаціонарні ергодичні випадкові процеси [8], а сам об'єкт дослідження – лінійний і багатовимірний, то для розв'язання поставленої задачі нами був використаний метод оцінювання, наведений в [7], в результаті якого отримані моделі спостерігачів  $F_1$  (8) та  $F_2$  (9).  $F_1$  оцінює зміну висоти та вологості дисперсного матеріалу в камері сушіння за зміною кінцевої вологості, яка вимірюється датчиком вологості з матрицею передаточних функцій  $K_1^*$ . Перший компонент цієї матриці рівний нулю, так як характеризує вимірювання висоти, а другий – вологість, спектральна щільність ємнісного датчика  $S_{\phi\phi 1}$  (6), тоді

$$K_1^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{0.5}{(8s+1)} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$F_2$  оцінює зміну висоти та вологості дисперсного матеріалу за зміною кінцевої вологості, яка вимірюється мікрохвильовим датчиком і описується матрицею передаточних функцій  $K_2^*$  зі спектральною щільністю  $S_{\phi\phi 2}$  (7)

$$K_2^* = \begin{bmatrix} 0 & 0,0625 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Визначення міри погрішності оцінювання відшуканого спостерігача проведемо за допомогою функціонала виду:

$$e_o = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} tr[S_{ee}(s)] ds, \quad (16)$$

де  $tr$  – слід матриці.

Тоді дисперсія погрішності оцінювання по висоті і вологості розрахуємо за виразами (12), (13).

Таблиця 1 – Значення похибки (дисперсії) оцінювання спостерігача  $F_1$  та  $F_2$

спостережувач	сигнал	1 каскад	2 каскад	3 каскад	4 каскад	5 каскад	6 каскад	7 каскад
$F_1$	$\dot{v}$	6.3245	6.8765	5.0288	5.2454	3.6269	2.4467	<b>0.8619</b>
	$\dot{\omega}$	0.4373	0.4373	0.4373	0.4373	0.4373	0.4373	<b>0.4373</b>
$F_2$	$\dot{v}$	7.0912	7.7905	5.9977	5.7333	3.9579	2.6260	0.9083
	$\dot{\omega}$	0.5981	0.5981	0.5981	0.5981	0.5981	0.5981	0.5981

З таблиці зрозуміло, що мінімальну дисперсію оцінювання як зміни вологості так і висоти дисперсного матеріалу має спостерігач  $F_1$  на нижньому каскаді (каскад №7). Тому і доцільно обрати датчик вологості з математичною моделлю  $K_1$ , адже саме він забезпечуватиме системі спостереження найвищі показники оцінювання зміни висоти зернового матеріалу за зміною його кінцевої вологості.

**Висновок.** В даній роботі для обґрунтування вибору датчика вологості застосований відомий алгоритм оцінювання погрішності вимірювання системи спостереження, який враховує і метрологічні характеристики датчика і динаміку самого об'єкта. Знайдені значення дисперсій не перевищують: 0,86 мм по висоті та 0,44% по вологості.

## Список літератури

1. Волхонов М.С. Обоснование и совершенствование процессов и аэрожелобных устройств для послеуборочной обработки зерна: автореф. дисерт. на соискание наук, степени доктора техн. наук / М.С. Волхонов. – Чебоксары: 2008, 38 с.
2. Осадчий С.І., Зерносушильна установка з киплячим шаром як об'єкт автоматизації / С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік //Збірник наукових праць КНТУ/ Вип.17.– Кіровоград: КНТУ, 2006.– 388 с.
3. Таров В.П., Нагорнов С.А. Техника и технологии псевдоожижения: гидродинамика и теплообмен с погружёнными телами / В.П. Таров, С.А. Нагорнов.– Тамбов, ТГТУ, 2005 . – 111 с.
4. Патент на корисну модель №43197 Україна, МПК G01N 9/00 Спосіб визначення висоти дисперсного матеріалу в киплячому шарі / С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік та ін.; заявник і власник патенту Кіровоградський національний технічний університет.– №u200901494; заявл. 23.02.2009, опубл. 10.08.2009, Бюл. №15
5. Осадчий С.І. Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах / С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік // Збірник наукових праць КНТУ / Вип.27. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – 345 с
6. Осадчий С.І. Оцінка стохастичного стану зерносушильної установки (ЗСУ) з киплячим шаром за неповними вимірюваннями в реальних експлуатаційних умовах» / С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік // Збірка наукових праць міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCS'2008)» у трьох томах. Том 2 (Частина 2) Аналіз і моделювання складних систем і процесів. – Херсон: ХНТУ, 2008.– 155 с.
7. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий. – К.: НАУ, 2006. – 437с.
8. Осадчий С.І. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах / С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік //Вісник Хмельницького національного університету. – 2007.–№3, т. 1. – С. 38-41.

**Sergey Osadchy, Prof., DSc., Marianna Fedotova, assist., Ivan Skrynnik, Assos. Prof., PhD tech. sci., Irina Berezyk, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical University, Kirovohrad, Ukraine*

### **On the choice of the humidity sensor at incomplete measurement of the output signals of the dryer fluidized bed**

During the synthesis of automatic control system of drying in the dryer cascade type fluidized bed revealed that the height of this layer cannot be measured by the direct method.

To solve this problem, technology was used, developed by Professor L. N. Blokhin, a result which opened the opportunity to estimate the change in height of the fluidized bed in cascade having information only on the final moisture of dried material. The optimality criterion gives the answer, which of the sensors it would be better to perform the function of assessment.

This technique may find wide application for the calculation of the surveillance systems in case of incomplete information on the output signals of the object or-what process.

**fluidized bed, dryer cascade type, the transfer function matrix, measurement system, humidity sensor, surveillance system**

Одержано 02.12.15

УДК 621.798.38

**О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук,  
А.М. Артюхов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,  
E-mail: vvv96@yandex.ua*

## Аналіз постачальних пристроїв установок безперервної дії для завантаження сипких матеріалів з одним блоком завантажувальних секцій

Отримані залежності швидкості сипкого матеріалу в постачальному пристрої від висоти вільного падіння, коефіцієнта тертя, кута нахилу бокових стінок приймальної воронки, як для випадку нерухомого положення приймальної воронки, так і для випадку обертального руху воронки при різних значеннях кутової швидкості.

**постачальний пристрій, воронка, установка, сипкий матеріал**

**О.В. Орышака, доц., канд. техн. наук, В.И. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук, А.Н. Артюхов, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

**Анализ поставляющих устройств установок непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов с одним блоком загрузочных секций**

Получены зависимости скорости сыпучего материала в питательном устройстве от высоты свободного полёта, коэффициента трения, угла наклона боковых стенок приёмной воронки, как для случая неподвижного положения приёмной воронки, так и для случая кругового движения воронки при различных значениях угловой скорости.

**питательное устройство, установка, воронка, сыпучий материал**

**Постановка проблеми.** Установки безперервної дії мають ряд переваг над установками з циклічною подачею (висока продуктивність, низькі енергетичні витрати, менша матеріалоемність тощо). Вдосконалення установок безперервної дії є актуальною задачею. Необхідно визначити параметри руху потоку сипкого матеріалу в каналах постачальних пристроїв як на стадії завантаження клапанного мішка, так і при зміні напрямку руху потоку сипкого матеріалу від одної завантажувальної секції до другої.

Для різних схем постачальних пристроїв провести їх аналіз та обрати постачальний пристрій з найбільш високою технологічною надійністю для установок з одним блоком авантажувальних секцій.

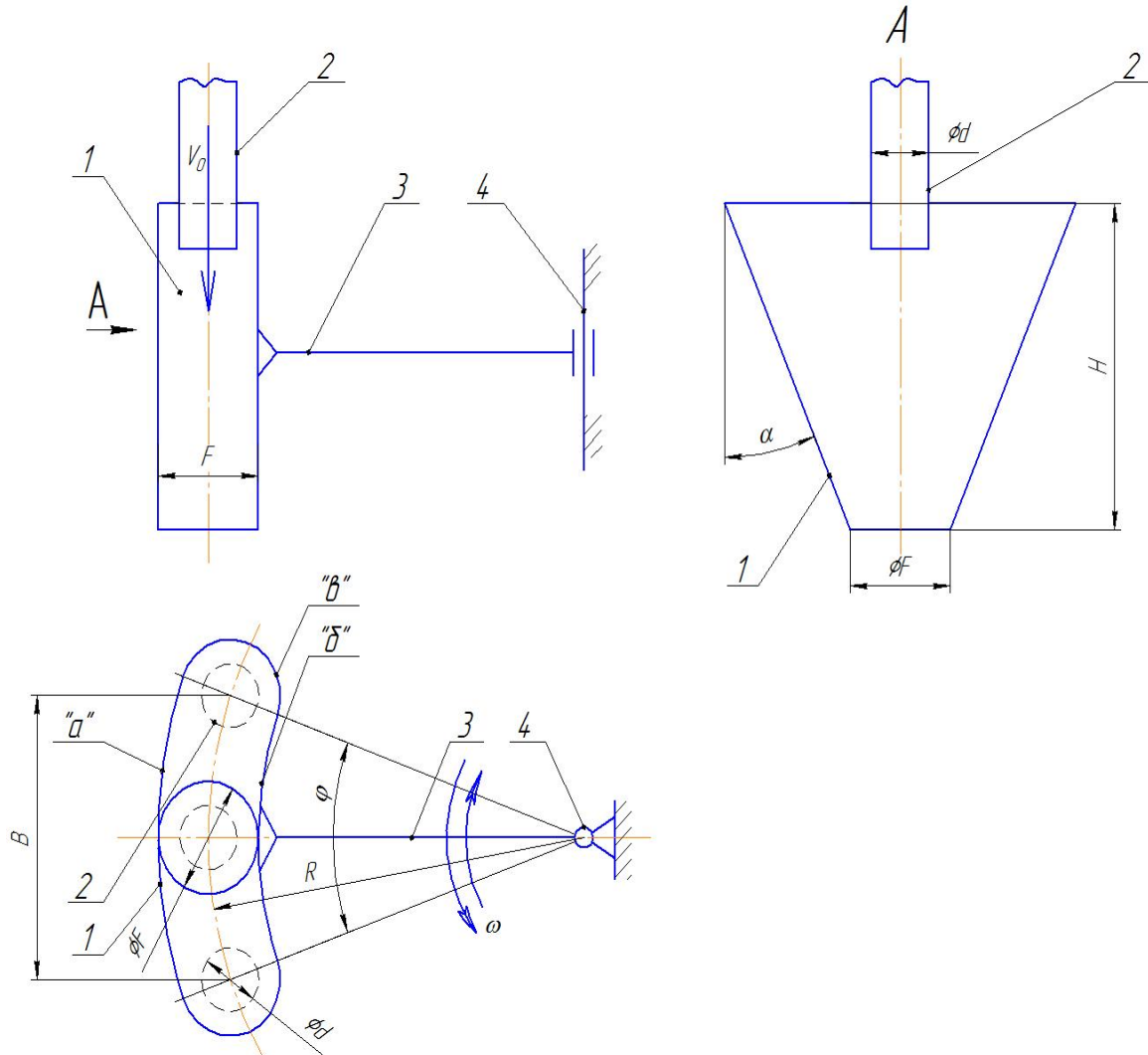
Аналіз виконати за наступними схемами постачальних пристроїв:

- з воронкою, що здійснює обертальний овий рух навколо вертикальної віссі, що розташована поза межами воронки;
- з двостороннім плоским скатом, що розташований у вирізі корпуса регулятора витоку;
- з патрубком маятникового типу, що змонтований на вертикально розміщеному матеріалопроводі;
- з двостороннім клапаном, заслонки якого по чергово перекриватимуть канал вивантажувальних патрубків. В даній статті проводиться аналіз постачального пристрою з воронкою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведене дослідження постачальних пристроїв установок з чотирма блоками завантажувальних секцій: установок зі стабілізатором, виконаним у вигляді воронки і зі стабілізатором, виконаним у вигляді конічного скату. Проведено обґрунтування установки зі стабілізатором виконаним у вигляді воронки. [1, 2, 3].

**Постановка завдання.** Провести аналіз впливу параметрів постачальному пристрої на вихідну швидкість сипкого матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** Постачальний пристрій з воронкою, що здійснює зворотно-обертальний рух навколо вертикальної віссі, що розташована поза межами воронки (рис.1), включає воронку 1, матеріалопровід 2 і привід.



1 – воронка; 2 – матеріалопровід; 3 – важель; 4 – вісь обертання; “а” – передня поверхня воронки; “б” – задня поверхня воронки; “в” – бокова поверхня воронки

Рисунок 1 – Схема пристрою з воронкою, що здійснює зворотно-обертальний рух

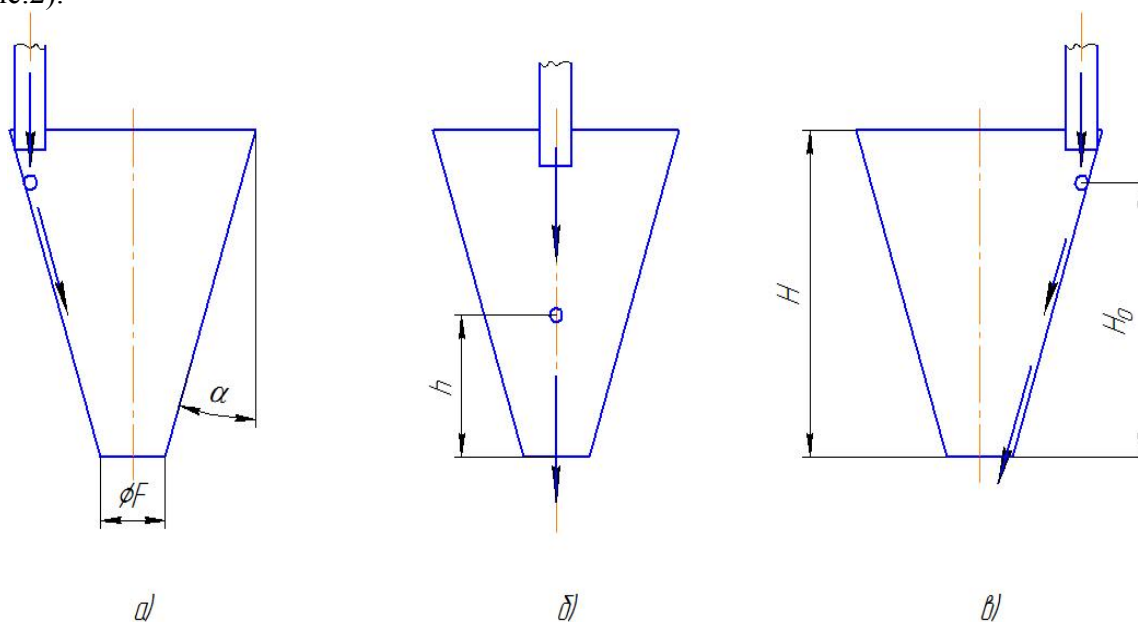
Матеріалопровід 2 стоїть на місці, а воронка 1 обертається навколо осі 4 (рис.1).

Характеристика воронки:

- передня і задня стінки розташовані вертикально (“а” і “б” – рис.1);
- бокові стінки воронки (“в”) мають нахил до вертикалі  $\alpha$  (рис.1).

Кут нахилу  $\alpha$  бокових стінок воронки і висота воронки  $H$  (рис.1) визначаються із конструкційних параметрів установки за умови забезпечення відстані між осями завантажувальних секцій (тобто між крайніми положеннями воронки) не менше 200 мм.

При повороті воронки 1 (поз.1 на рис.1) матеріальна частинка сипкого матеріалу спочатку рухається по одній боковій поверхні (поз.1 на рис.2), далі, коли матеріалопровід займе положення по центру воронки, над вихідним отвором, матеріальна частинка сипкого матеріалу буде здійснювати вільне падіння, а при досягненні воронкою положення протилежного початковому, матеріальна частинка сипкого матеріалу буде рухатися по іншій (протилежній) боковій поверхні (поз. “в” на рис.2).



- а) – рух матеріальної частинки сипкого матеріалу по лівій боковій поверхні воронки;  
 б) – рух матеріальної частинки сипкого матеріалу в вільному польоті (коли матеріалопровід знаходиться по центру воронки); в) – рух матеріальної частинки сипкого матеріалу по правій боковій поверхні воронки

Рисунок 2 – Схема руху матеріальної частинки сипкого матеріалу при різних положеннях воронки (яка здійснює зворотно-обертальний рух навколо осі)

З верхньої частини бокової поверхні воронки (поз. “в” на рис.1 та поз.1 на рис.2) починається завантаження клапанного мішка. При досягненні необхідної ваги сипкого матеріалу в клапанному мішку внаслідок дії системи автоматики відбувається поворот воронки в протилежну сторону і сипкий матеріал починає надходити до другого мішка. Сипкий матеріал, що виходить з вихідного отвору воронки після взаємодії зі скатом надходить спочатку до одного, а потім до другого клапанного мішка.

Траєкторії руху частинок матеріалу показані на рис.2.

Розглянемо спочатку рух частинки у випадку нерухомого положення приймальної воронки. Під час вертикального падіння швидкість частинки визначається за відомою формулою:

$$V_x = \sqrt{V_0^2 + 2gx}, \quad 0 \leq x \leq h_1, \quad (1)$$

де  $V_0$  – швидкість на виході з матеріалопровода. Припустимо, що при зіткненні частинки з поверхнею приймальної воронки відбудеться непружний удар, після якого

частинка буде рухатися по поверхні приймальної воронки під дією сили тяжіння та сили тертя. Швидкість руху  $V_1$  напрямлена уздовж осі  $Ox_1$ . Диференціальне рівняння:

$$V_1 \frac{dV_1}{dx} = g \cos \alpha - gf \sin \alpha . \tag{2}$$

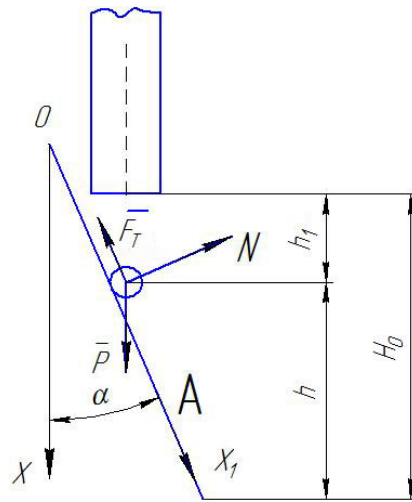
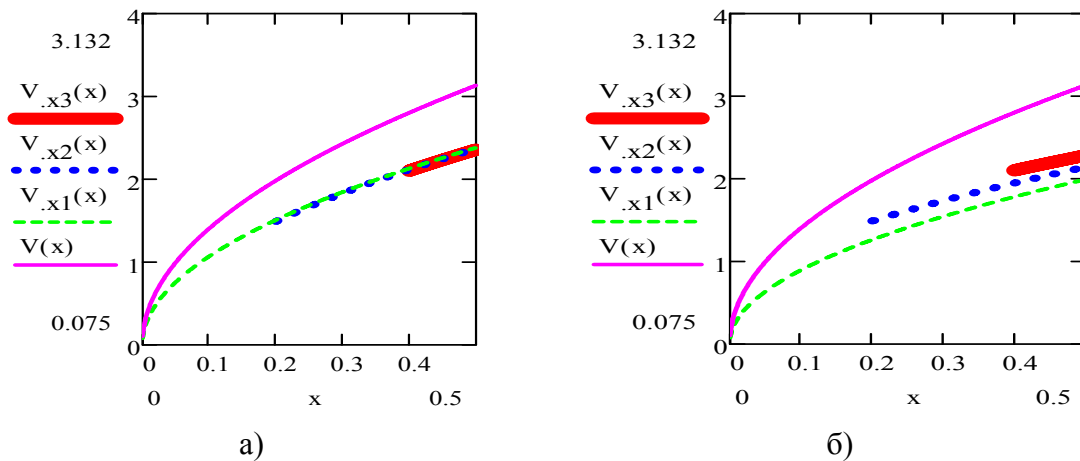


Рисунок 3 – Розрахункова схема (траєкторії) руху матеріальної частинки сипкого матеріалу.



а) – при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $\alpha = \pi/6$ ,  $f = 0,4$  б) – при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $\alpha = \pi/6$ ,  $f = 0,8$

Рисунок 4 – Залежності зміни швидкості руху частинки у випадку нерухомого положення приймальної воронки пристрою при різних значеннях величини  $h_1$ :  $V_{x1}(x)$ ,  $V_{x2}(x)$ ,  $V_{x3}(x)$  – відповідно при  $h_1 = 0$  м, 0,2 м, 0,4 м;  $V(x)$  – вільне падіння

Розв’язувалося при початковій умові:

$$V_1(h_1/\cos \alpha) = \sqrt{V_0^2 + 2gh_1 \cos \alpha} , \tag{3}$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя. Маємо:

$$V_1 = \frac{\sqrt{(V_0^2 + 2gh_1) \cos^4 \alpha + 2g \cos \alpha (\cos \alpha - f \sin \alpha) (x_1 \cos \alpha - h_1)}}{\cos \alpha} , \quad \frac{h_1}{\cos \alpha} < x_1 \leq \frac{H_0}{\cos \alpha} . \tag{4}$$

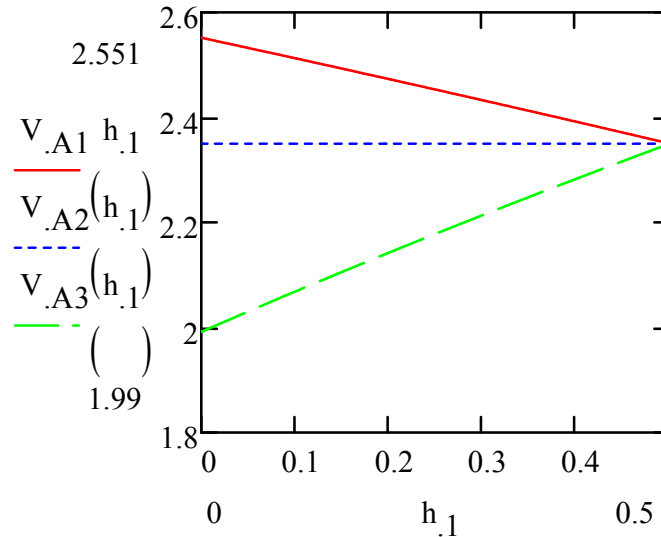


Рисунок 5 – Залежність кінцевої швидкості  $V_A$  від висоти  $h_1$  у випадку нерухомого положення приймальної воронки при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $\alpha = \pi/6$  і при різних значеннях величини  $f$ :

$V_{A1}(h_1), V_{A2}(h_1), V_{A3}(h_1)$  – відповідно при  $f = 0,2; 0,433; 0,8$

Враховуючи, що  $x = x_1 \cos \alpha$  і вертикальна складова  $V_x = V_1 \cos \alpha$ , можемо записати:

$$V_x = \sqrt{(V_0^2 + 2gh_1) \cos^4 \alpha + 2g \cos \alpha (\cos \alpha - f \sin \alpha)(x - h_1)}, \quad h_1 < x \leq H_0. \quad (5)$$

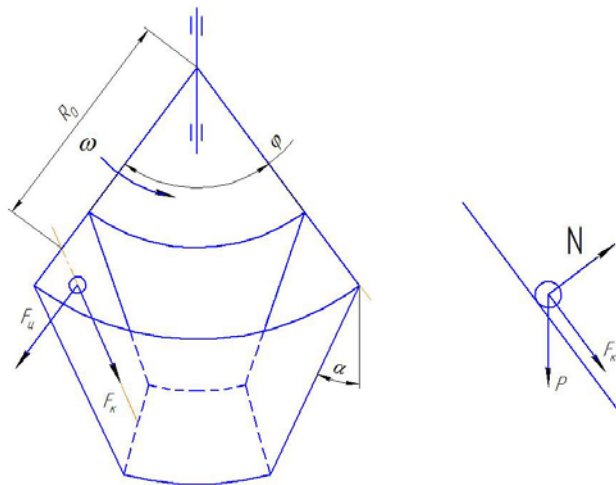


Рисунок 6 – Розрахункова схема (траєкторії) руху матеріальної частинки сипкого матеріалу під час обертального руху воронки

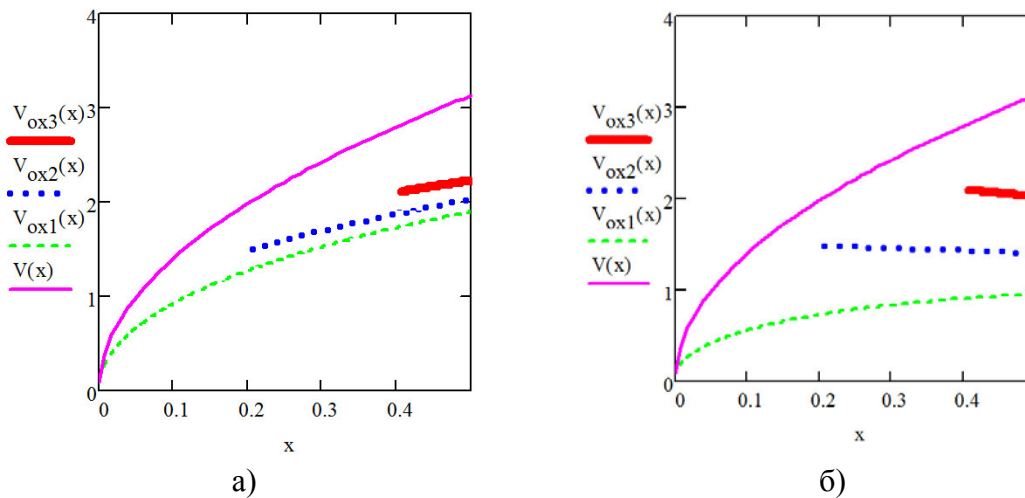
В точці А:

$$V_A = \sqrt{(V_0^2 + 2gh_1) \cos^4 \alpha + 2g \cos \alpha (\cos \alpha - f \sin \alpha)(H_0 - h_1)}. \quad (6)$$

На рис.4 наведені залежності, побудовані за формулами (1) і (5). При досягненні поверхні воронки напрям руху частинки змінюється, і вертикальна складова швидкості в момент початку руху по поверхні воронки миттєво зменшується на величину

$\sqrt{(V_0^2 + 2gh_1)} \sin^2 \alpha$ . Слід відмітити, що швидкості руху частинок по боковій поверхні воронки для однакових значень  $x$  при різних значеннях  $h_1$  досить близькі. При  $f = 0,5 \sin 2\alpha$  вони співпадають (формула (5) у цьому випадку не містить  $h_1$ ).

На рис.5 побудовані залежності кінцевої швидкості  $V_A$  від висоти вільного падіння  $h_1$  для різних значень коефіцієнта тертя  $f$ . Для малих значень  $f$  ( $f < 0,433$ ) при зростанні  $h_1$  швидкість  $V_A$  зменшується (залежність  $V_{A1}(h_1)$ ). Для відносно великих  $f$  ( $f > 0,433$ ) збільшення  $h_1$  призводить до збільшення  $V_A$  (залежність  $V_{A3}(h_1)$ ). При  $f = 0,5 \sin 2\alpha$  швидкість  $V_A$  не залежить від  $h_1$  (залежність  $V_{A2}(h_1)$ ). При будь-якому значенні коефіцієнта тертя  $V_A \rightarrow \sqrt{(V_0^2 + 2gh_1)} \cos^2 \alpha$  при  $h_1 \rightarrow H_0$ .



а) – при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $f = 0,4$  б) – при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $f = 0,8$

Рисунок 7 – Залежність зміни швидкості руху частинки у випадку обертального руху приймальної воронки пристрою при  $\alpha = \pi/6$ ,  $\omega = 0,7\pi$  с<sup>-1</sup> і при різних значеннях величини  $h_1$ :  $V_{ox1}(x)$ ,  $V_{ox2}(x)$ ,  $V_{ox3}(x)$  – відповідно при  $h_1 = 0$  м, 0,2 м, 0,4 м;  $V(x)$  – вільне падіння

Розглянемо рух частинки під час обертального руху воронки. На матеріальну частинку, що рухається по боковій стінці, діють сили:

$$F = \bar{P} + \bar{F}_T + \bar{F}_y + \bar{F}_\kappa, \quad (7)$$

де  $P = mg$ ;

$$F_T = fg \sin \alpha;$$

$$F_y = fm\omega^2 R;$$

$$F_\kappa = 2fm \sin \alpha \cdot \omega \frac{dx}{dt}.$$

Диференціальне рівняння руху матеріальної частинки сипкого матеріалу буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = g \cos \alpha - fg \sin \alpha - 2f \sin \alpha \cdot \omega \frac{dx_1}{dt} - f\omega^2 R. \quad (8)$$

З урахуванням того, що  $R = \sqrt{R_0^2 + x_1^2 \sin^2 \alpha}$ , рівняння (8) можна представити у формі:

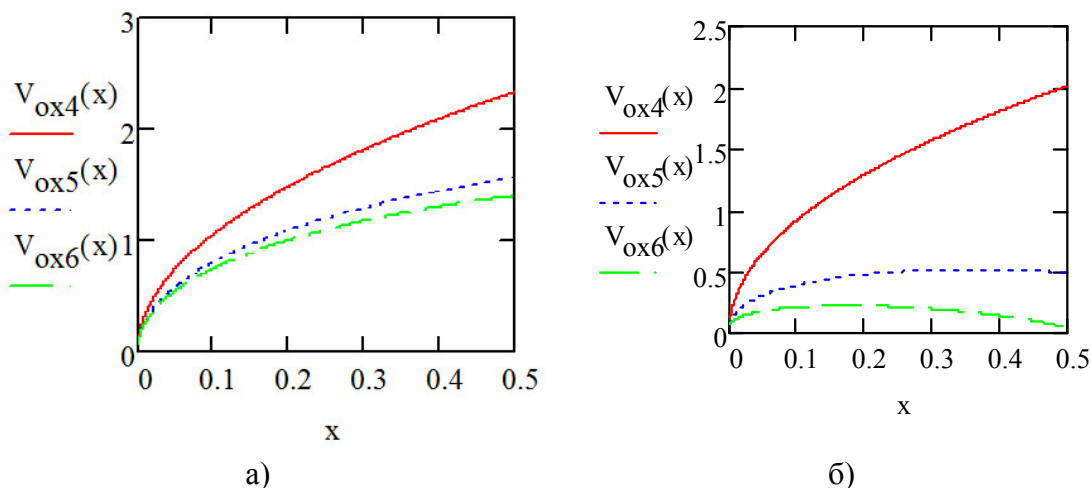
$$V_1 \frac{dV_1}{dx_1} = g \cos \alpha - f \left( g \sin \alpha + 2 \sin \alpha \cdot \omega V_1 + \omega^2 \sqrt{R_0^2 + x_1^2 \sin^2 \alpha} \right). \quad (9)$$

Перейшовши до вертикальних складових  $x$  і  $V_x$ , отримаємо:

$$V_x \frac{dV_x}{dx} = g \cos^2 \alpha - f \left( g \sin \alpha \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cdot \omega V_x + \omega^2 \sqrt{R_0^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right). \quad (10)$$

Початкова умова для останнього рівняння запишеться у вигляді:

$$V_x(h_1) = \sqrt{V_0^2 + 2gh_1} \cos^2 \alpha. \quad (11)$$



а) – при  $f = 0,4$ ; б) – при  $f = 0,7$

Рисунок 8 – Закон зміни швидкості руху частинки у випадку обертального руху воронки при  $V_0 = 0,1$  м/с,  $H_0 = 0,5$  м,  $\alpha = \pi/6$ ,  $h_1 = 0$  і при різних значеннях кутової швидкості  $\omega$ :  $V_{ox4}(x)$ ,  $V_{ox5}(x)$ ,  $V_{ox6}(x)$  – відповідно при  $\omega = 0,1\pi$  с<sup>-1</sup>;  $\pi$  с<sup>-1</sup>;  $1,12\pi$  с<sup>-1</sup>

Рівняння (10) інтегрувалося чисельним методом за допомогою пакету програм MathCAD [4]. На рис.7 наведені деякі результати розрахунків для різних значень величини  $h_1$ . Як бачимо, залежність вертикальної складової швидкості руху частинки від величини  $h_1$  є більш суттєвою, ніж у випадку нерухомого положення приймальної воронки. При зменшенні висоти вільного падіння  $h_1$  швидкість руху частинки також суттєво зменшується.

Рис.8 ілюструє вплив кутової швидкості  $\omega$  на швидкість руху частинки. Збільшення значень  $\omega$  призводить до зменшення значень  $V_x(x)$ . Після певного значення  $\omega$  частинка починає гальмуватися і її швидкість прямує до нуля. При виникненні вказаної ситуації з'являється загроза утворення пробки. Розрахунки на основі диференціального рівняння (10) дозволяють оцінити діапазон можливих значень для  $\omega$ . Для наведених вище значень інших величин значення кутової швидкості  $\omega$  повинно знаходитися на проміжку  $(0; \pi)$  (рис.8).

#### Висновки:

1. При стаціонарному положенні воронки забезпечується надійний рух сипкого матеріала.
2. При зворотно-обертальному русі воронки навколо осі може виникнути загроза порушення технологічного процесу. Для забезпечення надійного руху сипкого

матеріала необхідно обмежити кутову швидкість обертання, або зменшити силу тертя шляхом застосування матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя для відповідних поверхонь. Так, щоб забезпечити швидкість руху частинки  $V_x(x) \geq 0,5$  м/с при  $f=0,7$  необхідно, щоб  $\omega \leq \pi c^{-1}$  (рис.8).

## Список літератури

1. Оришака О.В. Обґрунтування постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-технічний збірник. Констр. виробництво та експлуатація с.-г. машин. – 2014. Вип. 44. – С. 41-48.
2. Аналіз продуктивності установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів/ О.В. Оришака, В.О. Оришака, А.М. Артюхов, А.О. Кравцов // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2013. Вип.1. – С. 169-174.
3. Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки / Патент України на винахід № 107610 / Оришака В.О., Артюхов А.М., Оришака О.В., Кравцов А.О. // Опубліковано: 26.01.2015. Бюл. № 2.
4. Дьяконов В. MathCAD 2000: учебный курс – Спб.: Питер, 2000. – 592 с.

**Oleg Oryhsaka, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasily Gutsul, Assos. Prof., PhD phys.&math. sci., Anatoly Artiuhov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University*

### **Analysis of the feed device of the units continuous loading of free-flowing materials with a single block boot sections**

Devices of continuous action have a number of advantages over systems with cyclic flow (high performance, low energy costs, lower consumption of materials and other). Improvement of continuous action is an actual scientific problem (is an urgent task).

An analysis was Conducted of the influence of parameters of feeding mechanism of device on the speed of the free-flowing material. The resulting dependence of the speed of the free-flowing material in the feed device from the height of the free flight, the coefficient of friction, angle of inclination of the side walls of the receiving receiving hopper, as for the case of fixed position receiving hopper, and for the case of circular motion of the funnel for different values of the angular velocity.

Conclusions: 1. At a stationary position of the funnel ensures a safe movement of the bulk material. 2. When a reciprocating rotary motion around the axis of the funnel can be a risk disturbing the process. To ensure reliable movement of bulk material is necessary to limit the angular rotation speed, or decrease the frictional force by applying materials with low friction for the respective surfaces.

**feed device, units, receiving hopper, free-flowing material**

Одержано 22.12.15

## **УДК 62-50.631.3**

**А. А. Панков, доц., канд. техн. наук, соискатель**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина,*

*E-mail: app.post@rambler.ru*

## **Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства**

© А. А. Панков, 2016

Рассмотрены вопросы применения пневмоструйных элементов для автоматического управления в средствах механизации. Устройства на основе пневмоструйных элементов пневмоники могут также применяться при посеве, в результате чего появляется возможность создания принципиально новых высевальных систем. Однако, высевальная система, на основе пневмоструйных элементов, будет работать в соответствии с агротехническими требованиями, если высев будет осуществляться синхронно с передвижением машины.

**управление, контроль, автоматизация, пневмоника, элемент, сельхозтехника, посев**

**А. О. Панков, доц., канд. техн. наук, здобувач**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна*

**Пристрої та методи автоматичного управління на основі пневмоструменевих елементів в засобах механізації сільського господарства**

Розглянуті питання застосування пневмоструменевих елементів для автоматичного управління в засобах механізації. Пристрої на основі пневмоструменевих елементів пневмоники можуть також застосовуватися на сівбі, внаслідок чого з'являється можливість створення принципово нових висівальних систем. Проте, висівальна система, на основі пневмоструменевих елементів, працюватиме відповідно до агротехнічних вимог, якщо сівба здійснюватиметься синхронно з переміщенням машини.

**управління, контроль, автоматизація, пневмоніка, елемент, сільгосптехніка, сівба**

**Постановка проблемы.** В развитии агропромышленного комплекса (АПК) все большее значение придается поиску новых прогрессивных технологических процессов и технических решений на основе использования новейших технологий, например таких, как дозревания и стимуляции всхожести семян, физико-химических и технических методов обработки и применения электроэнергии, радиации, тепла и холода в процессах АПК, а также микроэлектроники, мехатроники и многих других направлений. В связи с тем, что эти работы должны вестись в широких масштабах, встает вопрос об исследовании, проектировании и изготовлении специальной техники, отличной от той, которая действует в общепринятых процессах механизации АПК.

Кроме того, для настоящего времени характерно резкое расширение фронта работ по созданию комплексных систем контроля и управления в разных отраслях человеческой деятельности, в соответствии с техноукладом настоящего времени. Следствием этого является ускоренное развитие технических средств, применяемых при построении систем управления и автоматики.

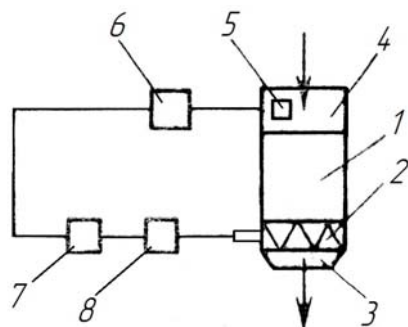
Вместе с тем требуется, чтобы системы управления и автоматики могли работать в относительно тяжелых, нестационарных условиях эксплуатации (при температурах, отличающихся от нормальных, высоких ускорениях, интенсивных вибрационных и ударных нагрузках, в зонах излучений и т.д.), что характерно для такой отрасли, как механизация АПК. При этом технические средства и системы должны быть предельно просты, долговечны, дешевы и надежны.

Поставленным требованиям в значительной мере соответствует направление, получившее название «пневмоструйной техники». Пневмоструйная техника или пневмоника – это сравнительно новое направление автоматики, но перспективность ее применения уже достаточно велика.

Новые возможности для построения высоконадежных, простых в обслуживании и недорогих в изготовлении устройств и систем автоматического управления в сельском хозяйстве появились с созданием элементной базы пневмоники [1].

**Анализ исследований и публикаций.** Некоторые вопросы применения пневмоники, пневмоструйной техники и ее элементов для автоматического управления работой сельскохозяйственных средств механизации отражены в исследованиях Залманзона Л.А. и Колбикова Л.О. [1-3].

Рассмотрим схему системы автоматического управления процессом сушки зерна, представленную на рис.1, согласно [1].



1 – шахта зерносушилки; 2 – затвор; 3 – канал выхода просушенного зерна; 4 – влажное зерно;  
5 – датчик влажности; 6 – преобразователь сигналов; 7 – управляющее устройство;  
8 – пневмопривод затвора

Рисунок 1 – Принципиальная схема автоматического управления процессом сушки зерна

Здесь, в зависимости от влажности поступающего зерна, должно автоматически изменяться время выдержки зерна в шахте. Схема одного из возможных вариантов построения струйного управляющего устройства представлена на рис.2, согласно [1].

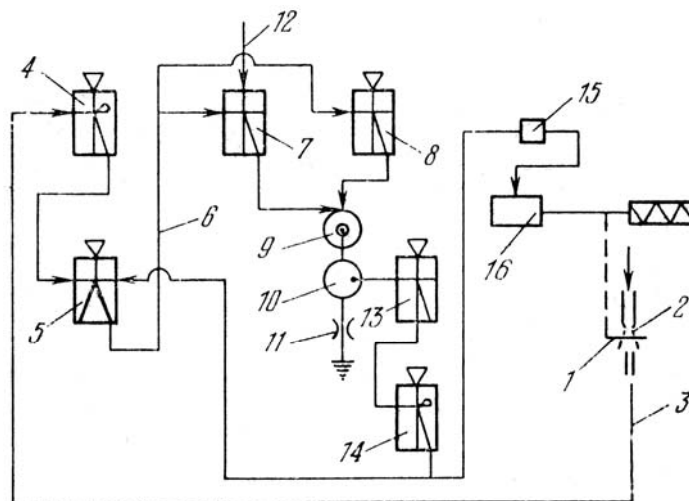


Рисунок 2 - Схема управляющего устройства работой зерносушилки (обозначения в тексте)

С приводным валом затвора соединена заслонка 1, которая при закрытии затвора входит в рабочий промежуток концевой струйной датчика 2, причем снимается давление в канале 3 и струйным формирователем импульсов 4 формируется короткий импульс давления. Импульсом струйный элемент памяти 5 переключается в состояние, при котором создается давление в канале 6. Это давление передается к каналам управления струйного вентиля 7 и струйного релейного элемента 8, выходные каналы которых соединены со струйным вихревым элементом 9. Элемент 9 является регулируемым входным дросселем пневматической камеры 20, выходной дроссель 22 которой – обычного типа. При включении в работу элемента 8 в его выходном канале поддерживается постоянное давление. Давление в выходном канале элемента 7 зависит от влажности зерна, так как входной канал 12 этого элемента соединен с датчиком влажности. С увеличением влажности зерна указанное давление увеличивается, становится более интенсивным завихрение потока воздуха в камере элемента 9 и увеличивается сопротивление, оказываемое им потоку, поступающему от струйного элемента 8. В связи с этим увеличивается время заполнения камеры 10 до заданного давления, от которого зависит время выдержки зерна в шахте зерносушилки. При

создании в камере 10 заданного давления происходит переключение струйного элемента 13, вступает в действие струйный формирователь импульсов 14 (такой же, как и 4) и по его выходному каналу передается импульс давления. Под действием этого импульса давления производится переключение струйного элемента памяти 5, после чего возвращаются к исходному состоянию элементы 7, 8, 9, 10 и 13. Этот импульсный сигнал передается через усилитель 15 и к исполнительному устройству 16, которое открывает затвор и по истечении времени, необходимого для разгрузки шахты, снова закрывает его. Затем поступает команда на заполнение шахты (элементы, управляющие этими операциями, на рисунке не показаны) и далее весь описанный выше цикл работы автоматически раз за разом повторяется.

Струйные системы управления могут использоваться и для выполнения других операций, например, в прошедшей полевые испытания системы управления процессами совместной работы агрегата «трактор-плуг» [1].

Одной из актуальных задач развития техники АПК является задача автоматизации молочно-товарных ферм (МТФ). Новые возможности для усовершенствования доильных аппаратов появились с применением пневмоники. Установлено, что, используя элементы пневмоники, можно управлять доильными аппаратами так, чтобы оптимальным образом учитывались физиологические данные: с изменением в процессе доения величины отдачи молока, в зависимости от последней должны автоматически изменяться величина вакуума, частота создаваемых разрежений и относительная длительность каждого импульса. Это позволяет увеличить удой молока. На основе использования специализированных систем пневмоники выполняются и другие функции автоматического управления на МТФ, например струйные системы автоматического управления индивидуальным дозированием корма для каждой коровы с учетом отдачи молока и струйные системы, управляющие пневмоприводом дверей доильного зала. Использование этих систем позволило существенно увеличить удой молока и увеличить численность коров, обслуживаемых на ферме; вместе с тем был полностью устранен ручной труд [1].

Рассмотрим еще один из вопросов, исследование которого имеет практическое значение. Это вопрос об использовании для приведения в действие устройств пневмоники разреженного воздуха вместо обычно применяемого воздуха, находящегося под избыточным давлением по отношению к атмосферному давлению. Данный вопрос возникает в связи с тем, что в некоторых случаях (стационарные установки молочных ферм, передвижные доильные аппараты и другое оборудование) имеется магистраль, в которой вакуум-насосом создается разрежение, и отсутствует источник сжатого воздуха. Разрабатывались струйные элементы, управление которыми производится путем создания разрежения. Однако, если к каналу питания струйного элемента все равно должен подаваться воздух под давлением, в рассматриваемых случаях применение таких элементов не дает нужного решения. Вместе с тем при соответствующем выполнении всей системы питания могут, как показывается ниже, приводиться в действие разреженным воздухом струйные устройства обычного типа.

Рассмотрим схемы на рис.3, представленные согласно [1].

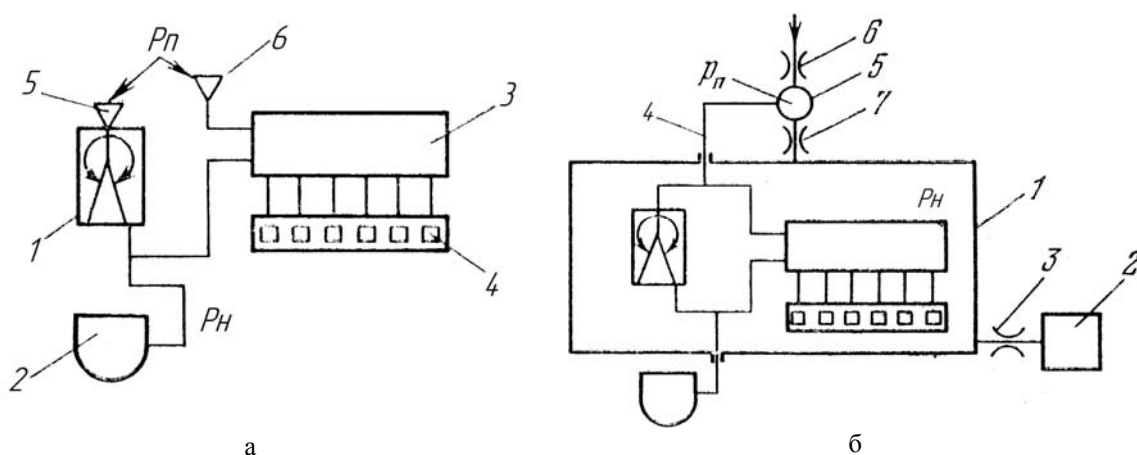


Рисунок 3 – Схема использования разрежения для элементов пневмоники (обозначения в тексте)

Струйный генератор колебаний 1, соединенный с глухой камерой 2, в которой должно периодически изменяться давление; триггерный струйный счетчик 3. С помощью индикатора пневматических сигналов 4 можно получать информацию о количестве циклов изменения давления. Обозначения 5 и 6 приняты соответственно для каналов питания (каналов подвода сжатого воздуха) к струйному генератору колебаний и к струйному счетчику. Примем обозначения  $p_n$  для давления окружающей среды ( $p_a$  — абсолютное давление,  $p_n$  — давление, избыточное по отношению к нормальному атмосферному давлению; если, как это имеет место в рассматриваемом случае, в пространстве, окружающем струйные устройства, находится атмосферный воздух, то  $p_n = 0$ ) и  $p_n$  для избыточного над давлением окружающей среды давления питания. Для обеспечения работы струйных элементов важно, чтобы создавалась нужная разность давлений  $p_n - p_n$ , а изменение величины  $p_a$  в достаточно широких пределах представляется чаще всего несущественным. Поэтому рассматриваемая струйная система, а это относится и к другим системам пневмоники, является работоспособной и в тех случаях, когда между каналом питания и окружающей средой создается указанная разность давлений, но  $p_a$  меньше, чем абсолютное давление окружающего воздуха, т.е. вся система в целом работает на разреженном воздухе. Как это реализуется технически, показано на рис.3,б. Здесь показаны те же струйные устройства, что и на рис.1.7,а, но все они находятся в камере 1, в которой создается разрежение вакуум-насосом и с которым камера соединена через дроссель 3. Объединенный канал питания струйного генератора колебаний и счетчика соединен каналом 4 с междроссельной камерой 5. Через дроссели 6 и 7 поступает небольшое количество атмосферного воздуха, причем создается необходимая для работы струйных элементов разность давлений  $p_n - p_n$ . Проведенные исследования показали, что струйные элементы нормально работают при создании соответствующих значений  $p_n - p_n$ , если абсолютное давление  $p_a$  изменяется даже в пределах, намного больших, чем те, в которых оно может меняться в устройствах сельхозтехники [1].

**Постановка задачи.** Актуально также и изучение вопросов, возникающих при анализе других возможных вариантов применения пневмоники в технике АПК. Устройства на основе элементов пневмоники могут применяться на высевах семян и минеральных удобрений, в результате чего появляется возможность создания принципиально новых высевающих систем. Однако такая высевающая система будет работать в соответствии с агропотребованиями, если высев материала будет осуществляться синхронно с передвижением машины.

Поэтому целью исследований является применение пневмоструйных элементов

для синхронизации высева со скоростью перемещения посевной машины, а задачей исследований является построение автоматизированного устройства, управляющего высевом синхронно скорости передвижения.

**Изложение основного материала.** В основе работы высевающих пневмоструйных устройств и их систем управления заложены те же самые фундаментальные принципы, на которых базируется и работа электроники. Это алгебра логики. Поэтому на основе законов алгебры логики с применением элементной базы струйной пневмоавтоматики, разработан вариант блока управления для синхронного высева. Конструкция блока управления представлена на рис.4.

При этом исследованы пути реализации процесса управления внесением технологических материалов. На данном этапе предлагается изменять в процессе работы частоту пневмоимпульсов, формируемых блоком управления, так как частотное регулирование имеет следующие преимущества:

- высокая точность регулирования в наиболее экономичном режиме;
- возможность удалённого управления и диагностики работы высевающей системы;
- простота конструктивной реализации.

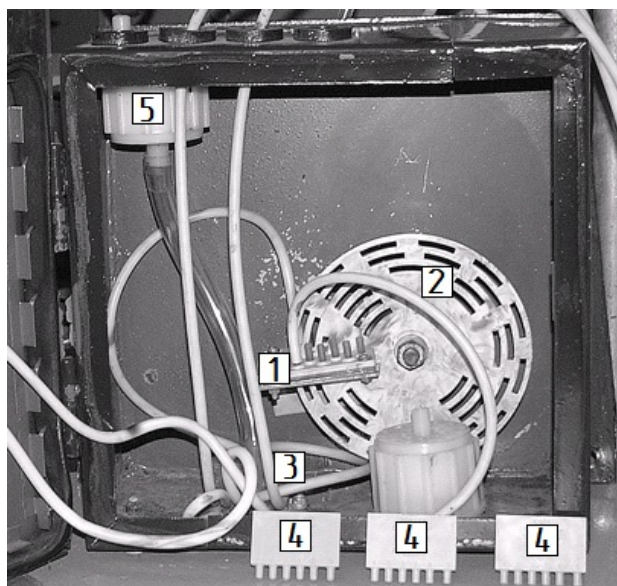


Рисунок 4 – Блок управления и синхронизации внесения материалов со скоростью перемещения машины (обозначения в тексте)

Пневматические импульсы в высевающей системе вырабатываются генератором пневматических импульсов, состоящего из пневмоструйного датчика 1 с ниппелями и перфорированного диска 2, который вращается от опорно-приводного колеса машины посредством клиноременной передачи. Далее импульсы калибруются формирователем импульсов постоянной длительности 3, работающем с применением элементов пневмоники 4. Формирователь импульсов вместе с генератором образует блок управления и синхронизации процесса высева со скоростью перемещения. Воздух под давлением поступает от вентилятора через фильтр 5.

Настройка блока управления представлена в табл.1.

Таблица 1 – Число пневмоимпульсов блока управления на 1 метр перемещения

Расположение ремня шкивах	Расположение трубок на ниппелях пневмоструйного датчика					
						
	0,51	1,00	2,05	4,03	5,55	6,08
	0,61	1,21	2,46	4,82	6,84	7,28
	0,74	1,46	2,97	5,83	8,03	8,80
	0,88	1,76	3,56	7,00	9,84	10,56

**Выводы:**

1. Использование пневмоструйных элементов создает новые возможности для построения высоконадежных, простых в обслуживании и недорогих в изготовлении устройств и систем автоматического управления в механизации сельского хозяйства.
2. Применение элементной базы струйной пневмоавтоматики позволяет синхронизировать работу высевающей системы с перемещением посевной машины.
3. При синхронизации высева со скоростью перемещения машины необходимо использовать частотное регулирование процесса работы.

**Список литературы**

1. Залманзон Л. А. Специализированные аэрогидродинамические системы автоматического управления / Л. А. Залманзон. – М.: Наука, 1978. – 464 с.
2. Колбиков Л. О. Струйные мосты для линейных измерений / Л. О. Колбиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1972. – №12. – С. 43-45.
3. Колбиков Л. О. Автоматический контроль размеров средствами струйной логики / Л. О. Колбиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1973. – №1. – С. 37-38.

**Andrej Pankov, Assos. Prof., PhD tech. sci., applicant**

*Kirovograd national technical University, Kirovohrad, Ukraine*

**Devices and methods of automatic control at the basis of pneumojet elements in facilities of mechanization of agriculture**

The purpose of researches is application of pneumojet elements in facilities of mechanization of agriculture, in particular for synchronization of sowing with moving of sowing machine.

The questions of application of pneumojet elements for automatic control in facilities of mechanization of agriculture are considered. Devices on the basis of pneumojet elements of pneumonics can be also used on sowing of seed and mineral fertilizers, as a result of this possibility of creation of the fundamentally new sowing systems is appeared. However the sowing system on the basis of pneumojet elements will work in accordance with agrotechnical requirements, if sowing of material will be carried out synchronously with the movement of machine.

Application of element base of jet pneumatic automation allows to synchronize work of the sowing system with moving of sowing machine on the basis of the frequency adjusting.

**management, control, automation, fluids, element, farm machinery, sowing**

Одержано 25.12.15

УДК 621.313.8 : 631.53.027

**В.В. Савченко, доц., канд. техн. наук, О.Ю. Синявський, доц., канд. техн. наук**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна,*  
*E-mail: vit1986@ua.fm*

## Передпосівна обробка насіння овочевих культур у магнітному полі

Наведено результати досліджень впливу магнітного поля на насіння овочевих культур. Встановлено залежності енергії проростання і схожості насіння буряка та кабачка від магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі. Визначено найбільш ефективні режими передпосівної обробки насіння в магнітному полі.

**магнітне поле, магнітна індукція, швидкість руху насіння, енергія проростання, схожість насіння, буряк, кабачок**

**В.В. Савченко, доц., канд. техн. наук, А.Ю. Синявский, доц., канд. техн. наук**  
*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г.Киев, Украина*

### **Предпосевная обработка семян овощных культур в магнитном поле**

Приведены результаты исследований влияния магнитного поля на семена овощных культур. Установлены зависимости энергии прорастания и всхожести семян свеклы и кабачка от магнитной индукции и скорости движения семян в магнитном поле. Определены наиболее эффективные режимы предпосевной обработки семян в магнитном поле.

**магнитное поле, магнитная индукция, скорость движения семян, энергия прорастания, всхожесть семян, свекла, кабачок**

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності вирощування овочевих культур потребує впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, до яких належать електротехнології. Передпосівна обробка насіння в сильних електричних полях, магнітному полі, НВЧ, ультрафіолетовим та інфрачервоним випромінюванням дає можливість підвищити урожайність сільськогосподарських культур, зменшити захворюваність рослин, покращити якість та збільшити термін зберігання сільськогосподарської продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Передпосівна обробка насіння овочевих культур у магнітному полі має ряд переваг перед іншими електротехнологічними методами. Застосовувані установки транспортерного типу з постійними магнітами мають меншу вартість і не потребують спеціальних джерел живлення, є простими в експлуатації і можуть застосовуватися у потокових лініях передпосівної обробки насіння.

Відомі приклади успішного використання передпосівної обробки насіння зернових культур у магнітному полі при магнітній індукції 0,04 – 0,06 Тл. Для цього встановлювали над стрічкою вивантажувального транспортера ТЗК-30 шість пар магнітних модулів на відстані 110 мм один від одного і від стрічки транспортера при швидкості руху насіння 1–1,3 м/с [1].

Досліджувався вплив на насіння зернових культур магнітного поля з магнітною індукцією до 0,01 Тл. За таких значень магнітної індукції підвищення урожайності зернових культур було неістотним. Крім того, спостерігалася недостатньо чітка відтворюваність отриманих результатів і велика розбіжність експериментального матеріалу.

Це свідчить про те, що нині не в повній мірі розкриті механізми й закономірності дії магнітного поля а біологічний об'єкт.

**Постановка завдання.** Для успішного впровадження технології передпосівної обробки насіння в магнітному полі необхідно встановити механізм впливу магнітного поля на насіння і визначити найбільш ефективний режим обробки.

Вирішення цього завдання потребує встановлення діючих факторів при магнітній обробці насіння та оптимальних їх значень.

**Виклад основного матеріалу.** Магнітне поле впливає на фізико-хімічні процеси, які відбуваються в насінні овочевих культур. Під впливом магнітного поля зростає швидкість хімічних і біохімічних реакцій, які протікають в клітинах [2], що сприяє стимуляції насіння, росту та розвитку рослин:

$$\omega_m = \omega \exp \mu(K^2 B^2 + 2KBv_n) N_a / 2RT, \quad (1)$$

де  $\omega$  – швидкість хімічної реакції без впливу магнітного поля, моль/л·с;

$\mu$  – зведена маса іонів, кг;

$B$  – магнітна індукція, Тл;

$v$  – швидкість руху іонів, м/с;

$K$  – коефіцієнт, який залежить від концентрації та виду іонів, а також кількості перемагнічувань, м/с·Тл;

$N_a$  – число Авогадро, молекул/моль;

$R$  – універсальна газова стала, Дж/моль·К;

$T$  – температура, К.

Магнітне поле сприяє підвищенню розчинності солей і кислот, які знаходяться в рослинній клітині, що також є стимулюючим фактором в життєдіяльності рослин [3]:

$$\alpha_m = \alpha e^{\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_m$  і  $\alpha$  – ступінь електролітичної дисоціації після і до обробки в магнітному полі.

Зростання швидкості хімічних реакцій викликає зростання біопотенціалу насіння [2]:

$$\Delta BP = \frac{2,3^2 \mu N_a K}{zF} \left( \frac{KB^2}{2} + v_n B \right), \quad (3)$$

де  $z$  – валентність іона;

$F$  – число Фарадея, Кл/моль.

При впливі магнітного поля на клітинні мембрани підвищується їх проникність, що прискорює дифузію через мембрану молекул та іонів [4].

$$\Delta C = \frac{C_1 e^{-\frac{\mu(K_i B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}} - C_2}{2} \left[ 1 - e^{-\frac{2k_\delta (a + K_m \text{grad} B)^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}}{\Delta L^2}} t \right], \quad (4)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  - концентрації речовин в розчинах, розділених мембраною, моль/л;  
 $k_\delta$  – коефіцієнт, с<sup>-1</sup>;

$a$  – міжатомна відстань, м;  
 $E_a$  – енергія активації дифузії, Дж;  
 $\Delta L$  – товщина мембрани, м.

Під дією магнітного поля зростає швидкість дифузії молекул кисню через клітинну мембрану і його розчинність, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і зменшенню захворюваності рослин внаслідок придушення процесу спороутворення фітопатогенних грибків.

Крім того, підвищення проникності клітинних мембран і швидкості хімічних реакцій при обробці насіння в магнітному полі викликає збільшення водопоглинання насіння, що прискорює розвиток рослин і сприяє підвищенню врожайності [5].

Рослини споживають мінеральні речовини у вигляді іонів, транспорт яких здійснюється за електрохімічним градієнтом. Під дією сили Лоренца посилюється транспорт іонів, внаслідок чого зростає концентрація мінеральних елементів, що надійшли в клітину [6]:

$$\Delta C_{i_2} = C_{i_1} v_i^0 f_i N_n E \tau \left( a + \frac{2K_m B}{\tau} \right) \left( \frac{a}{v} + \frac{2K_m B}{\tau v} + \frac{1}{2} K_{\kappa} K_{\epsilon} B \right) e^{-\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}}, \quad (5)$$

де  $v_i^0$  – абсолютна швидкість руху іона, м/с;

$f_i$  – коефіцієнт електропровідності;

$E$  – напруженість електричного поля в клітині, В/м;

$\tau$  – полюсна поділлка магнітної системи, м.

На підставі проведених теоретичних досліджень встановлено, що обробку насіння необхідно здійснювати в неоднорідному магнітному полі, а застосування періодичного магнітного поля посилює ефект обробки. Зміна фізико-хімічних параметрів насіння при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості його руху в магнітному полі.

Внаслідок дії магнітного поля зростає енергія проростання і схожість насіння, а також врожайність овочевих культур.

Експериментальні дослідження проводилися з буряками сорту «Детройт» та кабачка сорту «Білоплідний». Насіння перемішували на транспортері через магнітне поле, що створювалося чотирма парами постійних магнітів з інтерметалічного композиту NdFeB, встановленими паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю.

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху насіння через магнітне поле регулювали за допомогою перетворювача частоти струму.

Енергію проростання та схожість визначали за ГОСТ 12038-84 [7].

Дослідження впливу магнітної індукції і швидкості руху на енергію проростання і схожість насіння овочевих культур при магнітній обробці проводилися з використанням теорії планування експерименту. Під час проведення дослідів використовувався ортогональний центрально-композиційний план [8].

Як фактори приймалися магнітна індукція ( $X_1$ ) і швидкість руху насіння ( $X_2$ ), а вихідні величини – енергія проростання і схожість насіння.

На основі проведених однофакторних експериментів були визначені значення верхнього, нижнього і основного рівнів фактора, які склали для магнітної індукції відповідно 0; 0,65 і 0,130 Тл, для швидкості руху насіння – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл енергія проростання насіння зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися.

Встановлено, що при магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, енергія проростання змінюється неістотно і становить для насіння буряка 62 % (у контролі – 46 %), кабачка – 50 % (у контролі – 40 %).

За результатами проведеного багатofакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке у фізичних величинах має вигляд для насіння буряка (рис. 1, а):

$$E = 48.14 + 991.88B - 4.31v - 263Bv - 5286B^2; \quad (6)$$

для насіння кабачка (рис. 1, б)

$$E = 44.315 + 586.325B - 6.944v + 76.923Bv - 3445B^2. \quad (7)$$

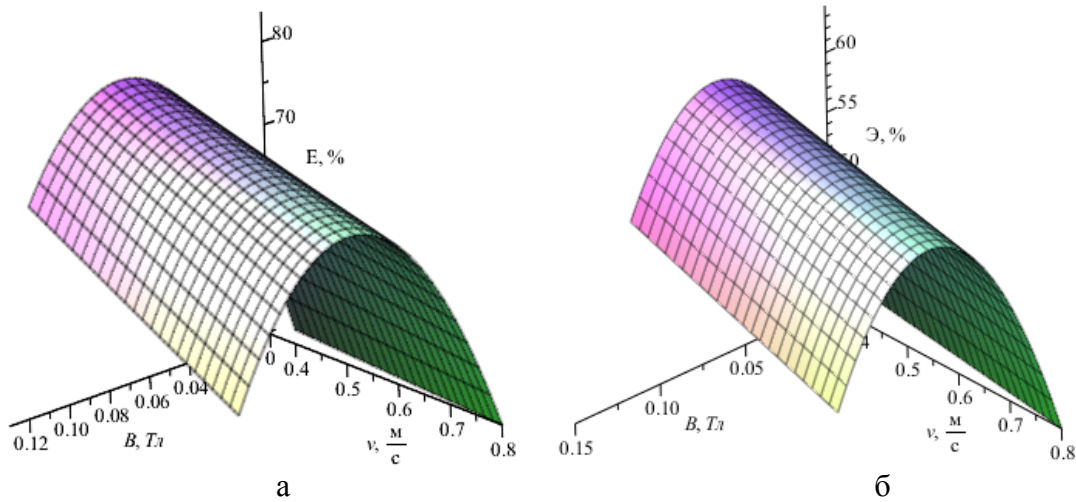


Рисунок 1 – Зміна енергії проростання при обробці насіння буряка (а) та кабачка (б) в магнітному полі

Рівняння регресії, що зв'язує схожість насіння з параметрами магнітного поля у фізичних величинах для насіння буряка має вигляд (рис. 2, а):

$$C = 56.94 + 1065B - 6.25v - 297Bv - 6284B^2; \quad (8)$$

для насіння кабачка

$$C = 62.315 + 640.171B - 4.167v - 115.385Bv - 3761B^2. \quad (9)$$

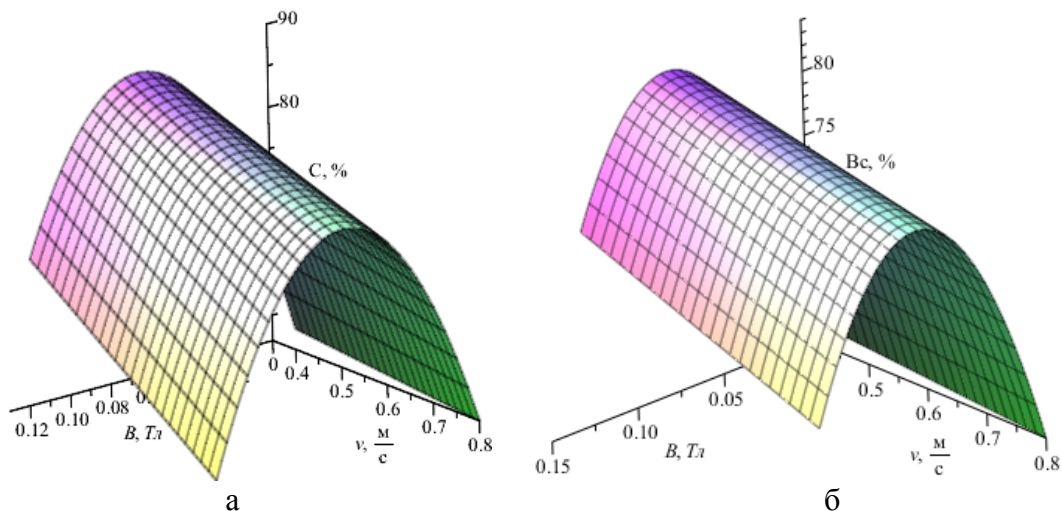


Рисунок 2 – Зміна схожості насіння буряка (а) та кабачка (б) при його обробці в магнітному полі

При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл схожість насіння зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції, що перевищує 0,130 Тл, схожість насіння змінюється неістотно і становить для насіння буряка 70 % (у контролі – 54 %), кабачка - 70 % (у контролі – 60 %).

На рис.3 показані паростки кабачка при різних значеннях магнітної індукції. Кращі біометричні показники були при магнітній індукції 0,065 мТл і швидкості руху 0,4 м/с.



1 – контроль, 2 – 30 мТл, 3 – 65 мТл, 4 – 130 мТл, 5 – 325 мТл, 6 – 520 мТл

Рисунок 3 – Паростки кабачка при значеннях магнітної індукції

Встановлено, що енергія проростання насіння овочевих культур і його схожість мають максимальне значення при магнітній індукції 0,065 Тл. У всіх дослідах ефект магнітної обробки залежав від швидкості руху насіння. Але в діапазоні швидкостей 0,4–0,8 м/с вона є менш істотним фактором, ніж магнітна індукція. Найкращі результати були отримані при швидкості 0,4 м/с.

**Висновки.** На основі проведених досліджень встановлено, що енергія проростання і схожість насіння буряка і кабачка при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху насіння в магнітному полі. Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху насіння 0,4 м/с. За такого режиму передпосівної обробки насіння урожайність овочевих культур підвищується на 18 – 25 %.

## Список літератури

1. Кутис С.Д. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян / С.Д. Кутис, Т.Л. Кутис, Е.З. Гак // Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе. – 1989. – Ч. 2. – С. 35–36.
2. Савченко В.В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.
3. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В.В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.2. – С. 68–72.
4. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В.В. Козырский В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №2 (15). – С. 16–19.
5. Козырський В.В. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння / В.В. Козырський, В.В. Савченко, О.Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.1. – С. 16-20.

6. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на транспорт илнов в клетке растений культур / В.В. Козырский В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3 (16). – С. 18–22.
7. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: ГОСТ 12038-84. – [Введен 1986-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2011. – 64 с.
8. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 278 с.

**Vitaliy Savchenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Aleksandr Sinyavsky, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

#### **Presowing treatment of vegetable seeds in a magnetic field**

The use of pre-treatment of vegetable seeds in the magnetic field makes it necessary to establish a mechanism of influence of magnetic field on seeds and determine the optimal treatment regime.

The purpose of research - to establish the influence of magnetic field on germination energy and germination of vegetable seeds.

The magnetic field affects the rate of chemical and biochemical reactions occurring in plant cells. Under the influence of the magnetic field increases the solubility of salts and acids that are found in plant cell, increasing its biopotential and accelerated diffusion of molecules and ions through the membrane. This leads to increased germination energy and seed germination.

Installed depending germination energy and seed germination beet and vegetable marrow from magnetic induction and speed of seeds in a magnetic field.

It was established that the germination energy and seed germination at magnetic treatment depends on the square of the magnetic induction and speed of seeds in a magnetic field. Optimal treatment takes place at 0,065 T magnetic induction and speed of seed 0,4 m/s. Thus the yield of vegetables increased by 18 – 25 %.

**magnetic field, magnetic induction, speed of the seed, germination energy, seed germination, beets, vegetable marrow**

Одержано 06.01.16

**УДК 621.798.38**

**О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, А.М. Артюхов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: vvv96@yandex.ua*

## **Дослідження стабілізатора установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів**

Отримані залежності швидкості виходу сипкого матеріалу в постачальному пристрої від кута нахилу бокових стінок стабілізатора, відстані від заслінки клапана бункера до бокової стінки стабілізатора і співвідношення площі вихідного отвору бункера до площі вихідного отвору стабілізатора.  
**стабілізатор, установка, сипкий матеріал, плоска модель**

**О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, А.М. Артюхов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кіровоград, Україна*

#### **Исследования стабилизатора установки непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов**

Получены зависимости скорости выхода сыпучего материала в питательном устройстве от угла наклона боковых стенок стабилизатора, расстояния от заслонки клапана бункера до боковой стенки стабилизатора и соотношения площадей выходного отверстия бункера к площади выходного отверстия стабилизатора.

**стабилизатор, установка, сыпучий материал, плоская модель**

© О.В. Оришака, А.М. Артюхов, 2016

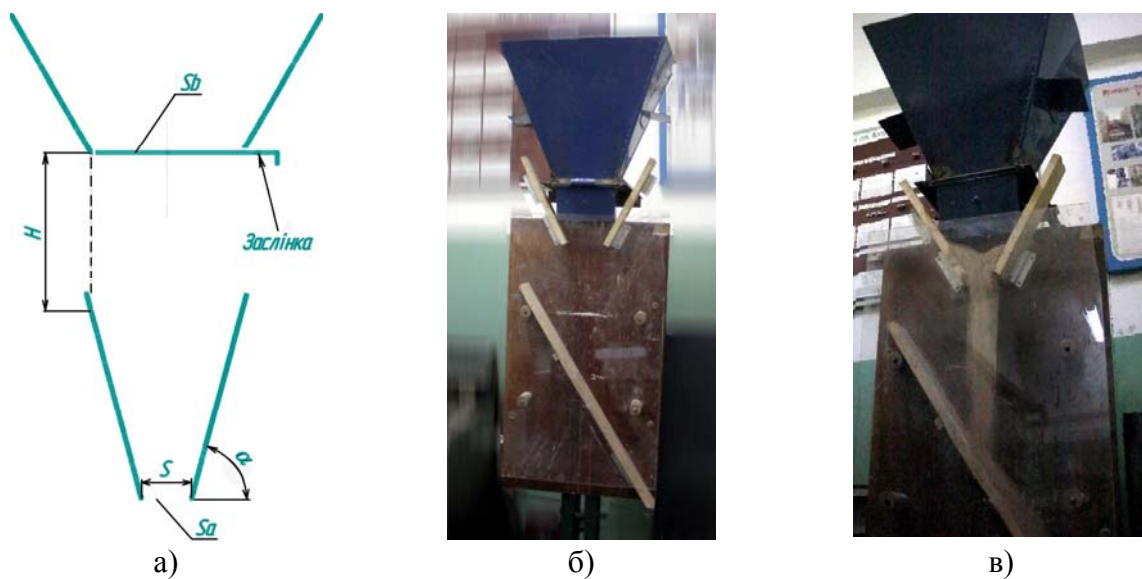
**Постановка проблеми.** Установки безперервної дії мають ряд переваг над установками з циклічною подачею (висока продуктивність, низькі енергетичні витрати, менша матеріалоемність тощо). Вдосконалення установок безперервної дії є актуальною задачею. Вільний рух сипкого матеріалу по каналу під дією сили гравітації зазвичай є пульсуючим. Такий тип руху матеріалу може негативно впливати на точність дозування. Одним із ефективних засобів зменшення пульсації є застосування в конструкції стабілізатора, тобто пристроя, який за допомоги навмисного поступового звуження каналу формує потік сипкого матеріалу з постійною масою перед його розподілом по завантажувальним секціям.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На плоских моделях проведені дослідження руху сипкого матеріалу у матеріалопроводі, роторному постачальному пристрої, а також в об'ємі клапанного мішка [3,4,5]. Проведення досліджень стабілізатора на плоских моделях дає можливість підтвердити результати теоретичних досліджень [5].

**Постановка завдання.** Провести аналіз впливу параметрів стабілізатора на вихідну швидкість сипкого матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** Побудована математична модель яка свідчить про те, що при збільшенні зазору  $S$  швидкість руху матеріалу на виході із стабілізатора  $Y$  збільшується. Комбінуючи значення параметра  $S$  установки можна отримати необхідне значення швидкості руху сипкого матеріалу на виході із стабілізатора.

Плоска модель стабілізатора включає бункер, заслінку, дві вертикально встановлені стінки, одна з яких виготовлена з прозорого матеріалу, бокові стінки (рис.1).



а) – схема плоскої моделі стабілізатора б) – плоска модель стабілізатора в) – проведення досліджень на плоскій моделі стабілізатора

Рисунок 1 – Схема постачального пристрою

Дослідження проводились з використанням наступних сипких матеріалів: кухонна сіль, висівки, премікс П-55, комбікорм, крупа кукурудзяна, орісіл, формівна земля, цемент.

Умови проведення експерименту наведені в табл.1.

Враховуючи те, що вихідна площа стабілізатора та одна із сторін прямокутного вихідного отвору є сталими, зміна співвідношення площі вихідного отвору бункера  $S_b$  до площі вихідного отвору  $S_a$  зводиться до зміни величини зазора  $S$ . Так як параметричні критерії базуються на припущенні про нормальний розподіл даних, які аналізуються, тому перед їх застосуванням необхідно пересвідчитись в допустимості цієї гіпотези. Перевірка гіпотези про нормальність розподілу експериментальних даних (часу витоку, який однозначно визначає подачу сипкого матеріалу) здійснювалась за такими параметрами: коефіцієнт асиметрії ( $Sw$ ), коефіцієнт ексцеса ( $Ku$ ), статистика Колмогорова, статистика  $\omega^2$  (омега-квадрат), статистика  $\chi$  - квадрат [1].

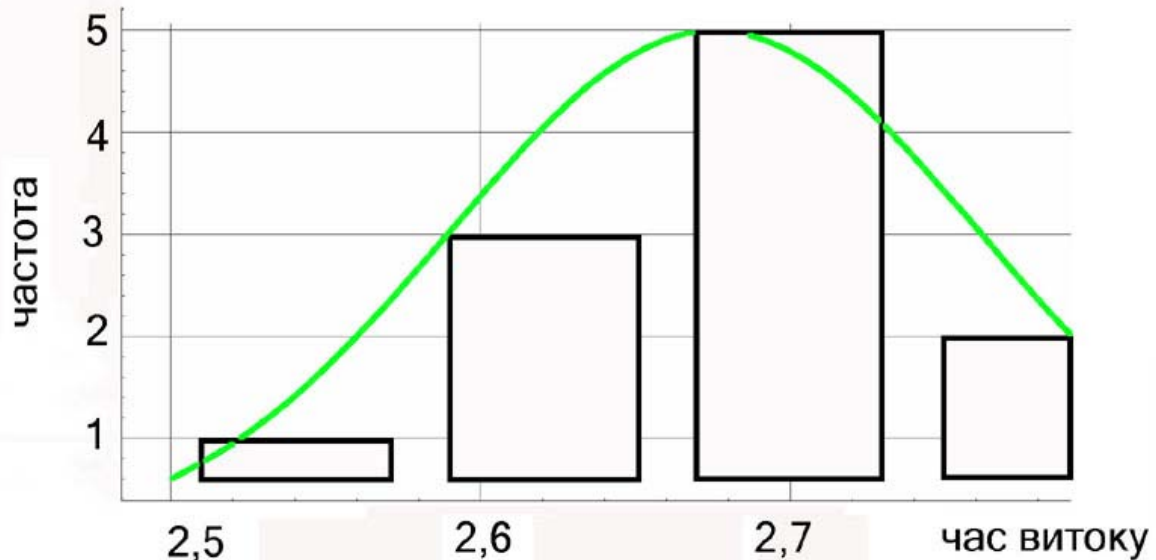


Рисунок 2 – Гістограма частот вибіркового розподілу часу витоку матеріалу для кухонної солі та крива нормального розподілу

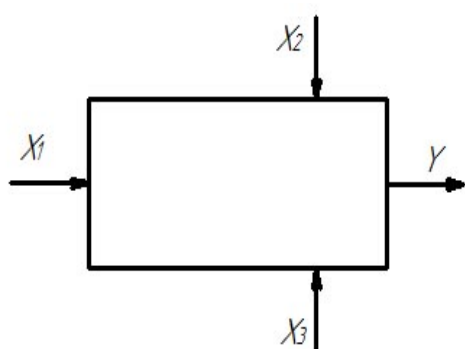
Перевірка на нормальність розподілу проводилась для наступних параметрів експерименту: матеріал: сіль, маса матеріалу: 11,35 кг., кут  $\alpha=75$ , висота  $H=210$  мм., зазор  $S=66,6$  мм. Були отримані наступні показники: час витоку матеріалу: 2,67; 2,5; 2,7; 2,75; 2,59; 2,73; 2,69; 2,63; 2,64; 2,71; 2,82 сек., середнє значення 2,67 секунди.

Розрахункові значення коефіцієнта асиметрії, коефіцієнта ексцеса, критерія Колмогорова, статистики  $\omega^2$  та статистики  $\chi$  - квадрат підтвердили нульову гіпотезу стосовно того, що розподілення не відрізняється від нормального [1].

Гістограма частот вибіркового розподілу часу витоку для кухонної солі (маса матеріалу – 11,35 кг.), та крива нормального розподілу (зеленого кольору) показані на рис. 2.

Аналогічним чином було проведено перевірку розподілу на нормальність і для інших матеріалів.

Вибір набору факторів для дослідів, їх рівні варіювання, визначався в залежності від та конструкційних параметрів установки та можливості подальшого практичного застосування. Зокрема, вибір зазору  $S$  (рис.1) виходив із залежності:  $S < S_b$ . В свою чергу, розмір  $S_b$  визначався із вимоги неутворення склепів при витоці сипкого матеріалу із вихідного отвору бункера.



а)

X1	X2	X3	Y
45	110	66,6	0,62
75	110	66,6	0,554
45	210	66,6	0,512
75	210	66,6	0,5475
45	110	133,3	1,68
75	110	133,3	1,6611
45	210	133,3	1,555
75	210	133,3	1,923

б)

а) умовна схема досліджуваного технологічного процесу руху сипкого матеріалу в постачальному пристрої б) план експеримента с цифрами швидкості Y руху матеріала (солі)

Рисунок 3 – Умовна схема технологічного процесу руху сипкого матеріалу в постачальному пристрої та план експеримента

Формування матриці, та обробка результатів повного факторного експерименту (його статистичний аналіз, розрахунки математичної моделі) здійснено з використанням обчислювальної техніки та відповідного програмного забезпечення, а саме: табличного процесора Excel, математичного пакету MathCad та статистичних програм Statgraphics і STADIA.

Після статистичної обробки результатів активного експерименту, а саме: перевірки гіпотези про однорідність відрядкових дисперсій (коефіцієнт Кохрена), перевірки статистичної значущості отриманих цифр (t - критерій Ст'юдента), перевірки на мультиколінеарність та інших), одержана нелінійна багатofакторна математична модель для подачі Y (у кодованій системі факторів):

$$Y = 1,13157 + 0,0398213 \cdot X1 + 0,00279625 \cdot X2 + 0,573204 \cdot X3 + 0,0610462 \cdot X1 \cdot X2 + 0,0474537 \cdot X1 \cdot X3 + 0,0314287 \cdot X2 \cdot X3.$$

Проведення експеримента фіксувалось на відео с частотой 25 та 50 кадрів/сек., з подальшим визначенням параметрів витoku сипкого матеріала в програмі роботи з відеопотоком Avidemux.

Таблиця 1 – Кодування факторів для проведення експерименту

Фактори	Натуральне значення	Кодоване значення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодовані		
				верх.	нижн.	нульовий	верх.	нижн.	нульовий
кут сходження сипкого матеріалу, град.	$\alpha$	X1	15	75	45	60	+1	-1	0
висота H, мм. (рис.1).	H	X2	50	210	110	160	+1	-1	0
зазор, мм.	S	X3	33,3	133,3	66,7	100	+1	-1	0

Характеристики отриманої моделі: статистика R-квадрат склав 99,62%; скоригований R-квадрат (з урахуванням ступеня свободи) склав 97,36%.

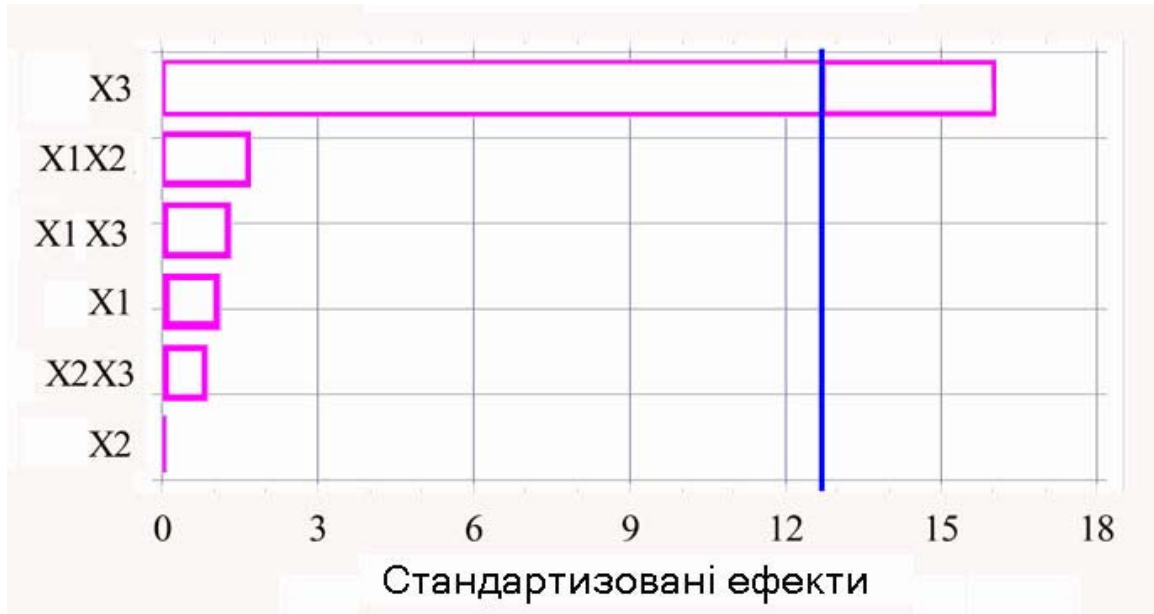
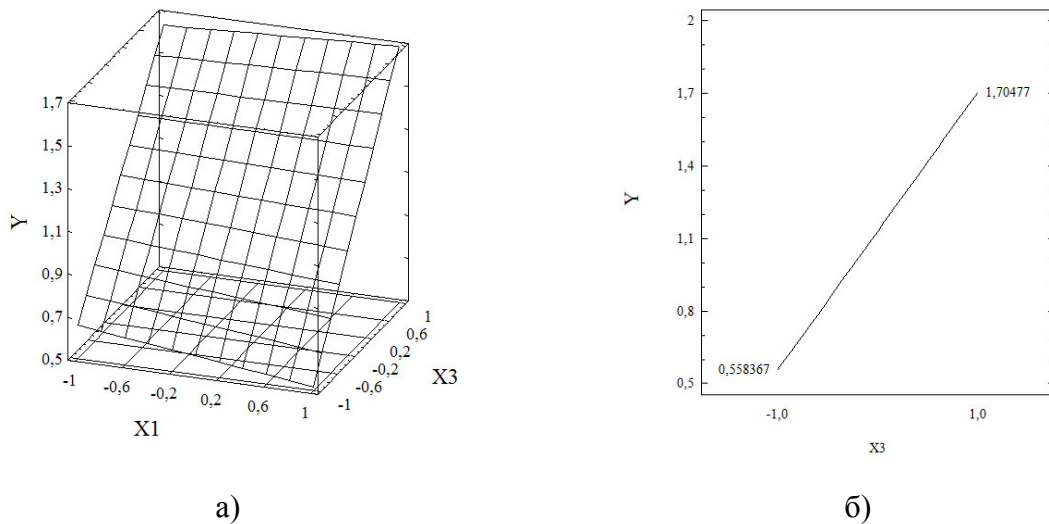


Рисунок 4 – Діаграма оцінки впливу параметрів математичної моделі постачального пристрою (при 95% значущості) на витрати часу виток матеріала (Паретто-карта)

Графік впливу факторів отриманої математичної моделі на вихідну величину  $Y$  (подачу матеріалу) наведено на рис.4.

На карті Паретто (див. рис.4) видно, що  $X3$  (зазор  $S$ ) має статистично значимий ефект. На це вказує те, що відповідний стовбець пересікає вертикальну лінію, яка представляє 95% тест для визначення значимості.



а) – вплив факторів  $X1$  та  $X3$  на  $Y$  б) – вплив фактора  $X3$  на  $Y$

Рисунок 5 – Графіки впливу факторів на швидкість матеріалу в кодованій системі факторів

Після спрощення (відкидання статистично невагомих або мультиколінеарних факторів) отримано наступну математичну модель (у кодованій системі факторів):

$$Y = 1,13157 + 0,573204 * X_3.$$

Побудована математична модель обіймає 97,09% дисперсії залежної змінної (статистика R-квадрат дорівнює 97,09%, тобто модель відображає 97,09% мінливості змінної Y); коефіцієнт детермінації модель скоригований з урахуванням ступеня свободи склав 96,61%; статистика Дурбіна-Ватсона – 1,96, що більше критичної величини (1,4). Отже, не спостерігається серйозної автокореляції у залишках. Взаємовідношення змінних моделі заслуговують практично 100% довіри ( $p \ll 0,05$ ).

Розрахункове значення критерія Фішера (Фрозр.=200,49) більше критичного значення (Фкр.=5,99), що дозволяє зробити висновок про адекватність побудованої моделі реальній дійсності.

Наведені на рис.5 залежності свідчать про те, що при збільшенні S (фактора X<sub>3</sub>) швидкість руху матеріалу на виході із стабілізатора збільшується. Комбінуючи значення параметра S установки можна отримати необхідну швидкість сипкого матеріалу на виході із стабілізатора.

**Висновки.** Маючи значення параметрів постачального пристрою на основі отриманих залежностей, можна визначити необхідне значення швидкості руху сипкого матеріалу на виході із стабілізатора так, щоб, з одного боку, потік сипкого матеріалу був достатньо стабільним, а з іншого – мав необхідну швидкість.

## Список літератури

1. Кулаичев А.П. Методы и средства анализа данных в среде Windows. STADIA. / А.П. Кулаичев. – [3-е изд. перераб. и доп.] – М.: Информатика и компьютеры, 1999 – 341 с.
2. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. – М.: «Недра», 1969. – 161 с.
3. Оришака О.В. Аналіз продуктивності установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів/ О.В. Оришака, В.О. Оришака, А.М. Артюхов, А.О. Кравцов // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2013.– Вип. 1. – С. 169-174.
4. Оришака О.В. Обгрунтування постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-технічний збірник «Констр. виробництво та експлуатація с-г. машин». –2014. – Вип. 44. – С. 41-48.
5. Оришака О.В. Теоретичне дослідження подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів / [Оришака О.В., Гончаров В.В., Артюхов А.М., Оришака В.О. та ін.] // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – 2010. – Вип. 40, ч. I. – С.86-92.

**Oleg Oryhsaka, Assos. Prof., PhD tech. sci., Anatoly Artiuhov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

### **Investigations of the stabilizer devices of continuous operation for loading free-flowing materials**

The resulting dependence of the exit speed of the bulk material in the feed device of the angle of inclination of the side walls of the stabilizer, the distance from the damper valve of the hopper to the side wall of the stabilizer and sootnoshenie areas of the outlet opening of the hopper S<sub>b</sub> to the area of the outlet of the stabilizer S<sub>a</sub>.

The main material. A mathematical model which shows that when you increase the gap S material feeding Y increases. Combining the values of the parameter S installation, you can obtain the desired value of the feed material.

Conclusions and perspectives for further research. Having the parameter values postchallenge device based on the obtained dependencies, you can specify the value delivery speed and material feed of the granular material.

**stabilizer, device, free-flowing materials, flat model**

Одержано 22.10.15

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.891

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, О.В. Кузик, доц., канд. техн. наук,  
В.М. Кропівний, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: Aulin52@mail.ru*

## З'ясування природи процесів структурних та фазових перетворень в залізовуглецевих сплавах на основі утворення молекулярної форми вуглецю

Показано, що фулерени у залізовуглецевих сплавах утворюються під час металургійних процесів, їх первинної кристалізації і в ході структурних і фазових перетворень. Визначено роль фулеренів в поліпшенні динамічних властивостей структури залізовуглецевих сплавів на субзеренному рівні подібна ролі дислокацій та інших дефектів на атомному рівні. З'ясовано, що керування стабільністю їх структури, надійністю під час експлуатації, пов'язані з вмістом фулеренів, при термічних впливах різної природи. Встановлено, що утворення фулеренів відбувається переважно в нерівноважних умовах, а їх кількість залежить від особливостей термічної обробки.

Проаналізовані методи ідентифікації фулеренів у зразках сталей та чавунів. Досліджено розподіл фулеренів по перетину зразків при лазерній обробці та цементації. Виявлена кореляція в розташуванні екстремумів вмісту фулеренів і значень мікротвердості, впливу на формування структури та фізико-механічні властивості сплавів, а також участь форми вуглецю в дисипації енергії поряд з відомими структурами адаптації.

Обґрунтовано механізм утворення фулеренів у залізовуглецевих сплавах з використанням процесу фракціонування атомів вуглецю і заліза, та його структуроутворення, а також потенціалу парної взаємодії.

**залізовуглецевий сплав, фулерени, структурні та фазові перетворення, методи ідентифікації, фракціонування, цементація, мікротвердість, самоорганізація**

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, А.В. Кузык, доц., канд. техн. наук, В.Н. Кропівний, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кіровоград, Україна*

**Выяснение природы процессов структурных и фазовых превращений в железоуглеродистых сплавах на основе образования молекулярной формы углерода**

Показано, что фуллерены в железоуглеродистых сплавах образуются при металлургических процессах, их первичной кристаллизации и в ходе структурных и фазовых превращений. Определена роль фуллеренов в улучшении динамических свойств структуры железоуглеродистых сплавов на субзеренном уровне подобно роли дислокаций и других дефектов на атомном уровне. Поэтому управление стабильностью структуры фуллеренов, надежностью при эксплуатации, связанные с содержания фуллеренов в стали при термических воздействиях различной природы.

По результатам мультифрактального параметризации структур железоуглеродистых сплавов, установлено, образования фуллеренов преимущественно в неравновесных условиях (условиях лазерной обработки), а их количество зависит от особенностей термической обработки.

Проанализированы методы идентификации фуллеренов в образцах сталей и чугунов. Экспериментально исследовано распределение фуллеренов по сечению образцов подданных термической лазерной обработке и цементации различными способами. Обнаружена корреляция в расположении экстремумов содержания фуллеренов и значений микротвердости, что влияет на формирование структуры сплавов и их физико-механические свойства, а также участие этой формы углерода в диссипации энергии наряду с известными структурами адаптации.

Обоснован механизм образования фуллеренов в железоуглеродистых сплавах с использованием процесса фракционирования атомов углерода и железа, и структурообразования железоуглеродистых сплавов, а также потенциала парного взаимодействия.

**железоуглеродистые сплавы, фуллерены, структурные и фазовые превращения, методы идентификации, фракционирование, цементация, микротвердость, самоорганизация**

**Постановка проблеми.** Відомі випадки руйнування деталей машин в процесі експлуатації, в тому числі і сільськогосподарських, внаслідок перерозподілу вуглецю в структурі металу і появи фаз, які були відсутні початково. В зв'язку з цим є необхідність ретельних досліджень, спрямованих на вивчення поведінки вуглецю в складі ряду фаз, його самостійних модифікацій і їх перетворень при термічних впливах і в процесі експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В науковій літературі такі вчені як Шоршоров М.Х., Манохін А.І., Рахманов Н.Я., Сіренко А.Ф., Драпкин Б.М., Фокін Б.В., Савуляк В.І., Аулін В.В., Кімстач Г.М., Гуляев А.П., Залкин В.М., Левицький В.В., Дозморов С.В., Любченко А.П., Жуков А.А., Білоус М.В., Новожилов В.Б., Шейко Ю.В., Білецький А.К., Корнієнко Е.Н., Гветадзе Р.Г., Хидашелі Н.З., Жуков А.А., Снігова Р.Л., Астахова Т.Ю., Виноградів Г.А. та інші розглядали вуглецеві утворення в сталях і чавунах, але походження деяких з них ще недостатньо з'ясовані при термічних впливах різної природи. В якості прикладу, можна навести "вибухові глобули", кільця вуглецевих атомів або їх ланцюжки зв'язані ковалентно. Показано, що вуглець може утворювати структури, що нагадують замкнені багатокутники, в тому числі шестикутник, і коралоподібний графіт. Поряд з  $\alpha$ -Fe в чавунах виявлена FeC-фаза та інші види сполук заліза з вуглецем, які відомі як  $\epsilon$ -карбіди. При цьому не встановлені їх хімічні формули, тому вони зазвичай позначаються у вигляді  $Fe_nC$ . Крім того, триває дискусія про природу цементиту, оскільки існують численні експериментальні дані, що свідчать на користь твердого розчину.

Вуглець є єдиним елементом, здатним утворювати об'ємні поліедричні структури не тільки в результаті хімічного синтезу - кубан, призмейн і пентагон, але і в ході самоорганізації – фулерени, які є молекулярною формою вуглецю [1,2].

Насьогодні фулерени недостатньо ідентифіковані в структурі вуглецевих сплавів на основі заліза, хоча існує велика кількість експериментальних даних, які можна вважати передумовою їх виникнення [3-5].

Теоретичні уявлення про структуру, фазові перетворення (ФП), взаємодію заліза з вуглецем в залізівуглецевих сплавах постійно удосконалюються і уточнюються з появою нових результатів досліджень в цій області. Разом з тим сучасні теорії не дають відповіді на ряд вельми важливих питань:

1. Не виявлено елементарний акт упорядкування, в той час як теорія кристалізації полікристалічних матеріалів базується на постулюванні флуктуаційного подолання енергетичного бар'єру при утворенні зародків нової фази, хоча існування кластерів в конденсованих середовищах вказує на протікання процесів упорядкування з утворенням локальних областей, що володіють ближнім порядком;

2. Не з'ясовано природи дефектів в кристалічних твердих матеріалах і той факт, що їх реальна міцність істотно відрізняється від теоретичної;

3. Не встановлено точного характеру зв'язку, що виникає між атомами заліза і вуглецю, температуру утворення цементиту, як хімічного з'єднання  $Fe_3C$ , а також  $\epsilon$ -карбіди, хімічне з'єднання яких позначають  $Fe_nC$ ;

4. Існують важкопояснювальні феномени поведінки розплавів залізівуглецевих сплавів при нагріванні джерелами різної природи.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є з'ясування процесів і фазових перетворень в залізвуглецевих сплавах при їх термічній обробці з урахуванням наявних фулеренів, зміни їх поведінки, концентрації та утворенні нових фулеренів при різних видах модифікування в середовищі залізвуглецевого сплаву.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо [2, 3], що вуглець в будь-якій формі – тверде тіло, на відміну від своїх газоподібних «сусідів» по періодичній таблиці і системі елементів. Це пояснюється полімерною будовою молекул вуглецю, тому і графіт, і алмаз складаються з однакових вуглецевих атомів. Кристал алмазу є по суті ідеально побудованим тривимірним полімером. У графіті полімерна впорядкованість поширюється тільки по площині. Існують і одномірні (лінійні) полімери вуглецю: карбін і полікумулен. Крім того, вуглець відомий як єдиний елемент, здатний утворювати об'ємні поліедричні структури не тільки шляхом хімічного синтезу (куб, призми і пентагон), але і шляхом самоорганізації (фулерени), які представлені широким класом багатоатомних молекул вуглецю  $C_n$  ( $n$  від 24 і більше) і твердим тілом на їх основі.

Для вуглецю характерним також є стан з неврегульованою структурою, так званий аморфний стан (кокс, сажа, деревне та активне вугілля та ін.). Відомо, що залізвуглецеві сплави володіють значною гетерогенністю хімічного складу і властивостей через недосконалість будови. Тому в локальних областях залізвуглецевих сплавів цілком можлива наявність різних з'єднань вуглецю, у тому числі і фулеренів. Можливість існування фулеренів в структурі вуглецевих сплавів на основі заліза, їх участь у структурних і фазових перетвореннях і вплив на комплекс експлуатаційних властивостей сталей і чавунів доведена в роботах М.М.Закриничної, В.І.Савуляка, В.В.Ауліна та ін. [1-5]. Однак фулерени, на відміну від інших форм вуглецю, остаточно не ідентифіковані як структурна складова залізо-вуглецевих сплавів, хоча існує достатньо велика кількість експериментальних даних, які свідчать на користь їх утворення:

– це передусім важкопояснювальні феномени поведінки розплаву при нагріванні, наявність аномальної зміни в'язкості при певному вмісті вуглецю в сталі;

– цементит вимагає подальшого вивчення, коли єдиним аргументом на користь сформованих уявлень про цементит – як про метастабільну хімічну сполуку карбіду заліза, для якої не виконується правило валентності, теплота утворення дуже мала і первинний, вторинний і третинний цементит утворюються в широкому інтервалі температур, а модуль Юнга цементиту є меншим, ніж у заліза, що є характерним більше для твердих розчинів, а не для хімічних сполук.

– температуру плавлення цементиту точно не визначено (в діапазоні порядку 1207...1500°C), а тому неможливо описати механізм утворення евтектичного цементиту навіть при надшвидкому охолодженні розплаву і важко пояснити чому стійкість цементиту не залежить від швидкості охолодження, а також чому цементит розпадається набагато швидше при термічній обробці виливків; виявлені й інші види хімічних сполук заліза з вуглецем, так звані  $\epsilon$ -карбіди, хімічна формула яких не встановлена, а тому вони позначаються як  $Fe_nC$ ;

– не зрозумілі найважливіші аспекти механізму аустенізації, це стосується початкової стадії перетворення перліту, безпосередніх фізичних факторів, які обумовлюють перехід евтектоїдного фериту, що містить незначну кількість вуглецю, в аустеніт, утворення зародків аустеніту при температурі  $A_1$  виявляється можливим внаслідок безперервного виникнення у фериті флукуаційних областей, збагачених вуглецем до концентрації, близької до евтектоїдної, однак це не узгоджується з отриманими експериментальними результатами і теоретичними уявленнями;

– при дослідженні механізму утворення центрів кристалізації графіту в чавунах на молекулярному рівні в межах термодинамічної моделі квазірівноважних систем визначено, що ними повинні бути поліедри – ідеальні структури, що нагадують фулерени;

– у центрі зерна кулястого графіту модифікованих високоміцних чавунів виявлено наявність насиченого модифікаторами ядра, а тому припущення про фулерени може бути покладене в основі механізму формування кулястого графіту в модифікованих чавунах і фулерени можуть реально існувати в них деякий час на молекулярному рівні, наприклад, в початкові моменти процесу кристалізації графіту;

– вуглець в сталях і чавунах може перебувати в станах, які не відповідають класичному визначенню фази і можуть бути присутнім у вигляді атмосфер Котрелла, сегрегацій на дислокаційних скупченнях у вигляді кластерів з великого числа слабо зв'язаних атомів вуглецю з хімічною взаємодією "вуглець-вуглець" і на ранніх стадіях відпускання; після завершення розпаду мартенситу більша частина вуглецю сталі (не менше 60%) знаходиться у вільному стані у вигляді сегрегацій на дислокаційних скупченнях;

– відомо, що рідкі чавуни являють собою систему з мікронеоднородностей масштабу 1...10 нм: залізовуглецеві угруповання ( $C_mFe$ )<sub>n</sub>, де  $m \approx 12$ , а  $n$  – велике число, швидко зростає з підвищенням концентрації вуглецю і зниженням температури;

– наявність в зразках високоміцних чавунів FeC-фази поряд з  $\alpha$ -Fe, вказує на особливість процесу структуроутворення чавуну, яке полягає з формуванням високовуглецевого карбиду типу FeC (вміст вуглецю близько 17,4%) і його графітизації з утворенням гетерогенних включень графіту та Fe-C – кластерні утворення в розплаві, що зберігають «розмиту» кристалічну ґратку аустеніту з різною концентрацією атомів вуглецю [6];

– визначено, що в структурі чавуну вільний вуглець може існувати у вигляді алмазоподібних утворень і  $\alpha$ -карбіну, що дало можливість запропонувати коралоподібну будову графіту в чавуні з різноманітним вуглецевим формам, що об'єднуються їх фулереновою будовою;

– обґрунтована крапельна модель є утворенням фулеренів, й дає можливість розглядати еволюцію вуглецевих атомів на тлі конденсованого стану вуглецевої краплі, а у структурованні фулеренів виділяються три стадії: утворення малих, переважно лінійних кластерів, і їх розгалуження; утворення циклів і початок формування двовимірної поверхні; зростання поверхні і її замикання в фулеренові структури;

– утворення фулеренів як структур адаптації і певного ієрархічного рівню в будові залізовуглецевих сплавів проходить в нерівноважних умовах, при яких будь-який технологічний процес безпосередньо пов'язаний зі зміною кількості вуглецю в сплаві, і відноситься до металургійних процесів отримання чавунів і сталей або до дифузійного насичення поверхневих шарів металу вуглецем;

– на основі зв'язку мультифрактальної і геометричної асиметрії можна вводити і досліджувати кількісні характеристики однорідності і впорядкованості структур, які витягуються з плоских зображень за допомогою комп'ютерного алгоритму.

Зазначене дозволяє по-новому виявити роль вуглецю у формуванні структури сплавів та більш глибоко оцінити закономірності її адаптації до зовнішніх впливів. На сьогодні добре ідентифіковано молекулярні форми вуглецю, типу фулеренів  $C_{60}$ , та встановлено, що зміна вмісту вуглецю в залізовуглецевих сплавах супроводжується зміною в них кількості фулеренів. Виявлено три можливі механізми появи фулеренів в структурі залізовуглецевих сплавів: перехід фулеренів в розплав з фулереновмісної шихти в ході металургійних процесів одержання сплавів; утворення фулеренів при

первинній кристалізації, а також в результаті структурних (СП) і фазових перетворень (ФП), що протікають при термічних впливах.

Зазначимо, що експериментально доведена наявність фулеренів в кам'яновугільному коксі і колошниковому пилу. Фулерени виявлені і в металі труб змішаних печей піролізу вуглеводневої сировини, що працюють в умовах високих температур і спрямованої дифузії вуглецю коксу вглиб поверхні. У процесі експлуатації труб вміст фулеренів в науглецьованій зоні може збільшуватися в п'ять і більше разів [2]. Встановлено, що при спрямованій дифузії вуглецю, у випадку цементації сталі 12ХН3А, утворюються зони переважного утворення фулеренів, що розташовується на відстані 0,3...0,4 мм від поверхні. При подальшій термічній обробці кількість фулеренів в цій зоні може збільшитися до 7 разів.

Одним з перспективних шляхів вирішення завдання кількісного опису структур матеріалів, в тому числі і залізобуглецевих сплавах, є їх параметризація, заснована на використанні теорії фракталів. Подолання зазначеного обмеження пов'язане з розробкою мультифрактального підходу, зокрема, мультифрактальної параметризації (МФП) структур [1,2]. Застосування МФП структур може допомогти у встановленні місцезнаходження фулеренів і доказів того, що на молекулярному рівні вони необхідні для поліпшення динамічних властивостей (стійкості, адаптивності) матеріалів при дисипації енергії.

Інтерес викликає методика виділення фулеренів із структури залізобуглецевих сплавів та ідентифікація їх комбінацій фізичними методами дослідження. Для зразків із сірого чавуну СЧ18, застосовують метод розчинення стружки металу сильною кислотою (царська водка: 65...38  $\text{HNO}_3 + 32...35\text{HCl}$ ) з наступною екстракцією фулеренів розчинником, здатним зруйнувати матрицю заліза, не руйнуючи при цьому фулерени. Проби для інфрачервоної спектроскопії готуються поєднанням плавикової кислоти  $\text{HF}$  і чотирихлористого вуглецю  $\text{CCl}_4$ .

Фулерени, що виділені із структури залізобуглецевих сплавів, аналізуються трьома основними методами, які визначають різні характеристики нанооб'єктів:

- якісна оцінка здійснюється мас-спектрометрією і малокутовим розсіянням рентгенівських променів;
- кількісний аналіз проводиться при використанні інфрачервоної спектроскопії і високоефективної рідинної хроматографії;
- візуалізування молекул фулерону дозволяє скануюча тунельна мікроскопія.

Мас-спектри позитивних іонів отримують на приладі МІ-1201. Мас-спектри чистих фулеренів і екстрату, отриманого з сірого чавуну СЧ-18, містять піки, що відносяться до фулеренів  $\text{C}_{60}$  та  $\text{C}_{70}$ . Наявність на спектрах фтор-фулеренових компонентів  $\text{C}_{60}\text{F}_{18}$ ,  $\text{C}_{60}\text{F}_{36}$  свідчить про те, що плавикова кислота, яка застосовується для руйнування матриці заліза, здійснює вплив на фулерени. Аналогічно отримуються і результати мас-спектрометрією для негативних іонів на модернізованому мас-спектрометрі МІ-1201 в режимі резонансного захоплення електронів.

Малокутове розсіювання рентгенівських променів при визначенні розмірів частинок, що присутні в пробах, проводиться на установці КРМ-1. При цьому застосовується  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінювання, відфільтроване нікелевим фільтром. Розрахунок радіусу інерції проводиться за методом Гинье.

Ідентифікацію фулеренів методом інфрачервоної спектроскопії проводять на приладі Spexord M80, та використовують методику кількісної їх оцінки в пробах. В основі такої методики лежить залежність інтенсивності частоти коливань зв'язку в спектрі від концентрації фулеренів в пробі. Перевірка результатів інфрачервоної спектроскопії проводиться високоефективною рідинною хроматографією на

хроматографах 1050 і 1090 фірми "Hewlett Packard". На хроматографі серії 1050 з фотометричним детектором аналізуються проби при довжині хвилі 333нм. Розділення полярних компонентів проводиться на хроматографії серії 1090 з фотометричним детектором при довжині хвилі 340нм. У першому випадку розділення здійснюється на колонці 250x4,6 мм з оберненою фазою Zorbax ОДС озереженням 5 мкм при кімнатній температурі. При цьому первинна фаза повинна складатися із суміші хлороформа, толуола і метанола в об'ємному співвідношенні 1:1, 1:1,3, а швидкість потоку – 0,4 мл/хв. У другому випадку компоненти розділяються при температурі 40 °С на колонці 250x4,6 мм з сілікогелем (Zorbax sil) озереженням також 5 мкм. В якості рухомої фази служить толуол зі швидкістю потоку 0,2 мл/хв.

Оскільки скануюча тунельна мікроскопія дозволяє візуалізувати молекулу сполук, то для цього використовують скануючий мультимікроскоп типу SMM-2000Т, призначений для роботи на повітрі. Розділення в площині зразка відбувається до 0,3нм, а по осі Z – до 0,3нм. Дослідженні проби екстракту сірого чавуну СЧ18 порівнювали з чистими фулеренами, які дослідженні мас-інфрачервоним ІЧ-спектральним аналізом.

Таким чином, при ідентифікації фулеренів зі структури вуглецевих сплавів на основі заліза спочатку їх виділяють, а потім ідентифікують комбінацією фізичних методів дослідження. Мас-спектри чистих фулеренів і екстракту, отриманого з сірого чавуну СЧ18, наведені на рис. 1.

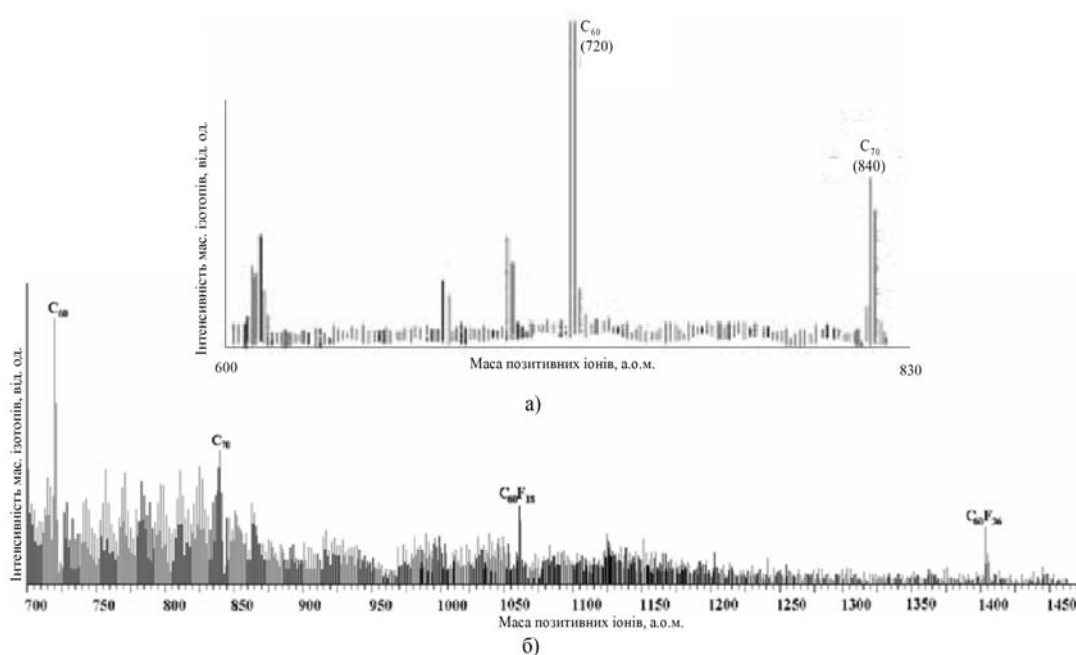


Рисунок 1 – Мас-спектри позитивних іонів проби чистих фулеренів (а) та екстракту сірого чавуну СЧ18 (б)

На мас-спектрі чистих фулеренів спостерігаються піки, що відносяться до фулеренів С<sub>60</sub> і в невеликій кількості виявлені фулерени С<sub>70</sub>, що підтверджується ізотопним складом. Наявність в спектрі екстракту чавуну фторованих фулеренів С<sub>60</sub>F<sub>18</sub> С<sub>60</sub>F<sub>35</sub> свідчать, що плавикова кислота HF, яка застосовується для руйнування матриці заліза, здійснює вплив на фулерени і створюється можливість утворення фтор-фулеренових комплексів.

Отримані ІЧ-спектри чистих фулеренів у чотирьохлористому вуглецю після обробки плавиковою кислотою і екстракту сірого чавуну СЧ18 фулерени С<sub>60</sub> і С<sub>70</sub> в

$\text{CCl}_4$ , які були ідентифіковані частотами коливань: 1429, 1183, 577 і 528  $\text{cm}^{-1}$ , для фулерену  $\text{C}_{60}$ . Виявлено, що чим нижче симетрія фулерену, тим більша кількість частот поглинання. Наприклад, у молекули  $\text{C}_{70}$  їх 11, а тому ускладнена її ідентифікація в розчині. При впливі НФ спостерігається зміщення частот, що відноситься до  $\text{C}_{60}$  у високочастотну область і отримуються відповідні піки з частотами 1494, 1198, 632 і 532  $\text{cm}^{-1}$ . Зміщення частот викликане сильним впливом атомів фтору на коливання зв'язків молекули і збільшенням їх маси через утворення складних комплексів. Скануюча тунельна мікроскопія в додаток до спектральних методам, дозволяє візуалізувати молекули досліджуваних сполук.

Зіставлення результатів мікроструктурного та ІЧ-спектрального аналізів дозволяє встановити кореляцію між кількістю фулеренів  $\text{C}_{60}$  і вільним вуглецем: чим більше відсотковий вміст вуглецю в сплаві, тим більше його йде на формування цементиту, тобто менше його залишається у вільному стані і, як наслідок, утворюється менша кількість фулеренів. Пошук фулеренів проводили як в основному металі, так і в науглецьованому шарі. Кількість фулеренів в науглецьованому шарі приблизно в 5,5 разів більше, ніж в основному металі. Можна припустити, що вони утворюються в мікропорах, захоплюючих вуглець [7].

Більш докладно процес насичення поверхні сталі вуглецем був розглянутий на прикладі цементації, зразків з вуглецевих якісних сталей 08, 10, 20 45 та 12ХН3А під дією лазерного випромінювання – керованого процесу масопереносу [8,9]. Перед процесом цементації була проведена чистова обробка їх поверхні. Була проведена і газова цементація із застосуванням карбюризатора, що являє собою багатокомпонентну систему  $\text{N}_2\text{-CO}_2\text{-CO-H}_2\text{-H}_2\text{O-CH}_4$ . Процес проходив при температурі 900 °С, зразки витримували в печі протягом 8, 10 і 14 годин для отримання науглецьованого шару різної товщини і охолоджували на повітрі. Аналіз результатів досліджень показав, що глибина науглецьованого шару складає для зразків з витримкою 8 год – 0,4 мм, 10 год – 1 мм і 14 год – 1,3 мм. Після термообробки розподіл кількості фулеренів і мікротвердості за глибиною зразків значно змінилися (рис. 2).

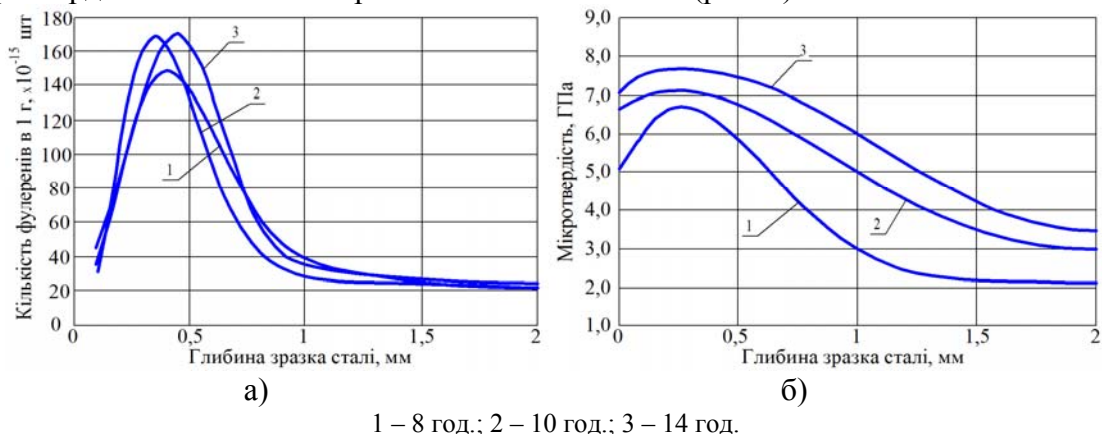


Рисунок 2 – Розподіл фулеренів (а) та мікротвердості (б) за глибиною зразка сталі 45

ІЧ-спектральний аналіз всіх досліджуваних проб показав наявність фулеренів  $\text{C}_{60}$  в різних кількостях в досліджуваних сталях. Кількість фулеренів значно збільшилася після відпалу при температурі 900 °С протягом 10 год ( $90,5 \cdot 10^{14}$  шт/г) у порівнянні із зразками після первинної кристалізації ( $34,4 \cdot 10^{14}$  шт/г).

Аналіз розподілів кількості фулеренів  $\text{C}_{60}$  по перетину зразків після цементації показав, що в науглецьованій зоні кількість фулеренів значно більше, ніж в основному металі. Наприклад, після 14 годин цементації в зразках сталі 45 відбулося їх



утворення можлива тільки при наявності внутрішньої поверхні, а тому утворення фулеренів в цих умовах є енергетично вигідним.

Вуглець як фаза, що має більш високу температуру переходу в кристалічний стан, ніж залізо, кристалізується в рідкому розплаві першим у вигляді фулеренів. Одночасно присутні фулерени, що перейшли з коксу в розплав чавуну, а потім, при його переділі, і в розплав сталі, які можуть бути центрами кристалізації для атомів заліза, що аналогічно модифікаторам з тугоплавких елементів та їхніх сполук. Фулерени також можуть перебувати в центрі фрактальних кластерів, утворених розташованими навколо фулерену атомами заліза. Такі структури володіють стійкістю і їх остаточне формування має відбуватися при більш низькій температурі, коли утворюється кристалічна ґратка аустеніту. При подальшому охолодженні ця фрактальна система зберігається в структурі фериту і утримує атоми вуглецю в ґратці.

Фулерени можуть бути центрами кристалізації для атомів заліза аналогічно модифікаторам з тугоплавких елементів і їх з'єднання. В чавунах накопичені фулерени можуть привести, при певних умовах, до утворення компактної і кулястої будови.

Як показали результати досліджень, крім складової фулеренів, яка перейшла в розплав під час металургійних процесів одержання сплавів і первинної кристалізації, утворюються фулерени в ході структурних і фазових перетворень. При цьому можливим місцем їхнього утворення є границі зерен фериту і цементиту, що характеризуються великою дефектністю і містять вільний вуглець у вигляді сегрегацій [7]. Це підтверджується результатами МФП, які показала зв'язок між зміною кількості фулеренів і ступенем зміни структури. Крім того, після відпалу в вуглецевих сталях поряд з ферритом і перлітом спостерігається помітна кількість структурно-вільного цементиту у вигляді грубих часток і виділення плівкового характеру, розташованих на міжзеренних границях у фериті [2,6,12].

Зазначимо, що розплав залізовуглецевого сплаву, з багатьох причин, володіє значною гетерогенністю хімічного складу і властивостей через недосконалість будови, має підвищену вільну енергію, а, отже, має нестійкість та метастабільність. Це призводить до утворення ієрархічної структури, пов'язаної з наявністю критичних станів. При їх досягненні формуюча система спонтанно фіксує одну з можливих, з енергетичної точки зору, структур. Це відбувається до тих пір, поки енергія, внесена в систему при формуванні розплаву, не витрачається на організацію цієї ієрархічної структури. Кожна ієрархічна ступінь буде характеризуватися певним набором структур адаптації, в числі яких, на субзеренном рівні, повинні бути і фулерени. Адаптивність структури до зовнішнього впливу контролює поведінку матеріалу під навантаженням, визначає надійність і працездатність його в деталях та їх спраженнях.

#### **Висновки:**

1. З'ясовано, що наявність фулеренів в структурі сталей і чавунів, які утворені в результаті переходу їх з шихти під час металургійних процесів одержання сплавів, в процесі їх первинної кристалізації і в ході структурних і фазових перетворень, що протікають в результаті термічних впливів.

2. Визначено роль фулеренів в поліпшенні динамічних властивостей структури залізовуглецевих сплавів на субзеренному рівні подібна ролі дислокацій та інших дефектів на атомному рівні, а тому керування стабільністю їх структури, контролююча надійність їх роботи під час експлуатації, пов'язані з керуванням вмісту фулеренів в сталі шляхом різних технологічних прийомів, наприклад, при термічних впливах різної природи.

3. Кількість фулеренів, в вуглецевих сплавах на основі заліза, залежить від особливостей термічної обробки. Встановлено, що фулерени утворюються переважно в

нерівноважних умовах (умовах лазерної обробки), і підтверджується, зокрема, результатами мультифрактальної параметризації структур сплавів.

4. Проаналізовані методи ідентифікації фулеренів у зразках сталей та чавунів. Експериментально досліджено розподіл фулеренів по перетину зразків підданих термічній лазерній обробці та цементації різними способами. Виявлена кореляція в розташуванні екстремумів вмісту фулеренів і значень мікротвердості. Це свідчить про вплив фулеренів на формування структури сплавів та їх фізико-механічні властивості, а також про участь цієї форми вуглецю в дисипації енергії поряд з відомими структурами адаптації.

5. З точки зору фізики твердого тіла дано обґрунтування механізму утворення фулеренів у залізівуглецевих сплавах з використанням процесу фракціонування атомів вуглецю і заліза та структуроутворення залізівуглецевого сплаву, а також потенціалу парної взаємодії.

## Список літератури

1. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.
2. Закиричная Марина Михайловна / Образование фуллеренов в углеродистых сталях и чугунах при кристаллизации и термических воздействиях / автореф. дис. на соискание ученой степени доктора технических наук. Уфа 2001 г. – 48с.
3. Савуляк В.І. Економічні технології високоміцних графітованих сплавів заліза: монографія / В.І. Савуляк, О.Б. Янченко. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 160с.
4. Савуляк В.І. Побудова та аналіз моделей металевих сплавів: монографія / В.І.Савуляк, А.О.Жуков, Г.О.Чорна. – Вінниця: УніВерСум. – Вінниця, 1999. – 200с.
5. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении / [В.С.Иванова, А.С.Баланкин, И.Ж.Бунин, А.А.Оксогов]. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
6. Малыгин Г.А. Размытые мартенситные переходы и пластичность кристаллов с эффектом памяти формы / Г.А. Малыгин // Успехи физических наук. – 2001. – Т.171, №2. – С.187-212.
7. Аулін В.В. Поверхнева сегрегація атомів в конструкційних матеріалах, підлеглих лазерній обробці та вплив її на трибологічні властивості / В.В. Аулін, С.О. Магопечь, С.М. Лізунов, В.М. Бобрицький. – Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в с/г виробництві, галузі машинобудуванні". – 2003. – Вип.13. – С. 289-294.
8. Аулін В.В. Обґрунтування впливу мартенситної структури на трибологічні властивості сталей під впливом концентрованих потоків енергії / В.В. Аулін, С.М. Лізунов, В.М. Бобрицький, В.Б. Батехін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2005. – №2 – С.103-112.
9. Аулін В.В. Нерівноважні фазові перетворення матеріалів в умовах лазерної обробки та їх вплив на триботехнічні характеристики / В.В. Аулін, Кузик О.В. // Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження" яка проводилась в рамках "Ольвійського форуму - 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С.46-48.
10. Аулін В.В. Фізика структурних перетворень матеріалу в зоні обробки концентрованими потоками енергії та тертя і зношування / В.В. Аулін – Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2007. – №2 (44). – С. 57-59.
11. Аулін В.В. Системно-спрямований підхід та синергетична концепція реалізації процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем / В.В. Аулін, Кузик О.В. // Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2014. – Вип. 27. – С.78-87.
12. Кашенко М.П. Волновая модель роста мартенсита при  $\gamma$ - $\alpha$  – преобразованиях в сплаве на основе железа / М.П.Кашенко. – Екатеринбург, 1993. – 224с.

**Viktor Aulin, Prof., DSc., Andriy Kuzyk, Assos. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Kropivniy, Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**Clarification of the nature of the processes of structural and phase transformations in iron-based alloys of carbon molecular form**

It is shown that iron-carbon alloys in the fullerenes are formed in metallurgical processes, and their primary crystallization in the structural and phase transformations. The role of fullerenes to improve the dynamic

properties of the structure of the iron-carbon alloys subgrain level similar to the role of dislocations and other defects at the atomic level. Therefore, the structure of fullerene stability control, which controls the reliability of their work in the operation, management-related content of fullerenes in steel by different processing methods, such as thermal influences of various nature.

According to the results of multifractal parameterization of structures of iron-carbon alloys, found mainly in the formation of fullerenes nonequilibrium conditions (laser processing conditions), and their number depends on the specific heat treatment.

The methods of identification of fullerenes in steel and iron samples. Experimentally investigated the distribution of fullerenes on the section of the sample subjects thermal laser treatment and cementation in different ways. A correlation was found in the location of the extrema content of fullerenes and microhardness values that affect the formation of the structure of alloys and their physical and mechanical properties, as well as part of the carbon in the form of energy dissipation, along with well-known adaptation of structures.

Substantiated mechanism of fullerene formation in iron-carbon alloys, using a process of fractionation of carbon atoms and iron, and structure of iron-carbon alloys, as well as the potential of pairwise interaction.

**iron-carbon alloys, fullerenes, structural and phase transformations, methods of identification, fractionation, grouting, micro-hardness, self-organization**

Одержано 08.02.16

**УДК 621.891.539.375.6**

**М.И.Черновол, проф., д-р техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп.**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина,  
E-mail: ivseplenko@mail.ru*

## Повышение качества финишной обработки отверстий

В статье представлен анализ путей повышения качества обработки отверстий, а также роль финишных операций при этом. Указаны особенности финишной обработки отверстий. Выполнен обзор существующих методов финишной обработки отверстий и их влияние на параметры качества поверхности. Направление по совершенствованию существующих технологий за счет возможностей комбинированной обработки представлено как наиболее актуальное.

**качество, финишная обработка, отверстие, комбинированная обработка**

**М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, І.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

**Підвищення якості фінішної обробки отворів**

У статті представлений аналіз шляхів підвищення якості обробки отворів, а також роль фінішних операцій при цьому. Вказані особливості фінішної обробки отворів. Виконаний огляд існуючих методів фінішної обробки отворів та їх вплив на параметри якості поверхні. Напрямо з вдосконалення існуючих технологій за рахунок можливостей комбінованої обробки представлений як найбільш актуальний.

**якість, фінішна обробка, отвір, комбінована обробка**

**Постановка проблемы.** Современные тенденции в производстве и эксплуатации сельскохозяйственных машин и механизмов направлены на существенное улучшение их эксплуатационных свойств, в том числе за счет

© М.И.Черновол, И.В.Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф., 2016

повышения качества рабочих поверхностей детали [1]. Параметры качества поверхности, определяющие ее эксплуатационные свойства, формируются на протяжении всего технологического процесса, однако наибольшее влияние оказывают финишные операции, исследованию которых всегда уделялось большое внимание. Именно на финишные операции возлагаются задачи по обеспечению требуемого качества поверхностного слоя. От качества самой финишной обработки во многом зависят важные показатели машин и механизмов – работоспособность, надежность, долговечность и другие технико – экономические и механические характеристики, а также процесс приработки поверхностей трения деталей [2].

Связь характеристик качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей свидетельствуют о том, что оптимальная (с точки зрения повышения эксплуатационных свойств деталей) поверхность должна быть достаточно твердой, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности [3].

Совершенствование существующих и создание новых технологических методов обработки должны быть направлены на улучшение качества рабочих поверхностей за счет получения оптимальных эксплуатационных свойств деталей машин.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для повышения долговечности деталей машин необходимо на их изнашивающихся поверхностях создавать упрочненные слои с высокими физико-механическими свойствами. При этом для наружных поверхностей такие технологические методы разработаны более полно [4]. А для внутренних, на долю которых приходится до 60% всех изнашивающихся поверхностей, в связи с их труднодоступностью, технологий обработки, обеспечивающих длительную безизносную работу изделий, разработано недостаточно [5-7].

Признано, что обработка внутренних цилиндрических поверхностей всегда была более сложным процессом, чем обработка наружных цилиндрических поверхностей [8]. Во многом это связано «закрытостью» отверстий, а также с трудностями ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности, наблюдения за процессом обработки, измерения и контроля микрогеометрии и размеров, использованием более сложной конструкции инструмента и другими особенностями. Как следствие, из всех цилиндрических поверхностей деталей различного назначения, применяемых в машиностроении, наиболее трудоемкими и сложными в обработке являются отверстия.

Одним из направлений повышения качества отверстий является совершенствование их обработки на финишных операциях.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является анализ существующих методов финишной обработки отверстий и их влияние на параметры качества поверхности.

**Изложение основного материала.** Рациональный выбор финишной операции технологического процесса изготовления или восстановления внутренней цилиндрической поверхности имеет важное значение при формировании качественных показателей деталей, их надежности и долговечности. Выбор того или иного метода обработки отверстия зависит от его размеров и точности, свойств материала заготовки, требований к качеству поверхностного слоя и производительности, а также рентабельности самого метода [9].

Существующие методы финишной обработки позволяют обеспечить необходимую точность, однако не всегда обеспечивают необходимую износостойкость поверхностного слоя.

В результате механической обработки поверхности деталей приобретают технологический рельеф, характеризуемый макрогеометрией, волнистостью и микрогеометрией [10].

Тонкое растачивание применяется как метод окончательной обработки и позволяет достигнуть высокой точности (5-6 квалитет) при шероховатости поверхности  $Ra=0,01\dots0,32$  мкм [11].

Использование шлифования в качестве финишной операции дает возможность получить поверхность по 5-7 квалитету точности с шероховатостью поверхности  $Ra=0,08\dots1,25$  мкм [9].

Хонингование обеспечивает получение высокой точности размеров, геометрической формы и малой шероховатости обработанной поверхности. Параметр шероховатости поверхности  $Ra=0,4\dots0,8$  мкм надежно обеспечивается одной операцией хонингования. Для чистового хонингования с получением параметра шероховатости поверхности  $Ra=0,1\dots0,2$  мкм и выше следует применять алмазные бруски [12]. При достижении более высокого класса шероховатости поверхности в значительной степени уменьшается производительность обработки за счет изменения величины продольной подачи, а применение мелкозернистых брусков ведет к быстрому засаливанию.

Однако широкое применение хонингования при обработке отверстий сдерживаются следующими недостатками:

- получение высокого класса шероховатости связано с большой трудоемкостью и низкой производительностью;
- обработка выполняется за несколько операций, брусками различной зернистости;
- шаржирование поверхности абразивными зёрнами;
- микропрофиль поверхности характеризуется наличием острых гребешков.

Использование полирования позволяет достигнуть снижения параметров шероховатости без устранения отклонения формы деталей. При окончательном полировании лентами зернистостью 16...8 параметр шероховатости -  $Ra=0,2\dots0,4$  мкм; лентами зернистостью 6...3 обеспечивается  $Ra=0,05\dots0,1$  мкм.

Применение доводки в качестве финишной операции обеспечивает высокое качество поверхности ( $Ra=0,04\dots0,02$  мкм) и отклонение геометрической формы обрабатываемой поверхности в пределах  $0,1\dots0,3$  мкм [11].

К недостаткам полирования и доводки следует отнести:

- плохая очистка обработанных поверхностей от микрозернистого абразива приводит к быстрому износу поверхности при эксплуатации;
- получение высокого класса шероховатости связано с высокой трудоемкостью.

Суперфиниширование используется для финишной обработки деталей после шлифования и позволяет увеличить эксплуатационные свойства детали вследствие получения малой шероховатости  $Ra=0,05\dots0,6$  мкм. Суперфиниширование обеспечивает упрочнение поверхностного слоя детали без значительных структурных изменений, получение необходимых направлений и форм микронеровностей [8]. Однако, в процессе суперфиниширования работоспособность брусков быстро снижается в результате заполнения режущей поверхности и пор металлической стружкой, вызывая загрязнения брусков.

В работе [9] показана сравнительная стоимость различных методов механической обработки деталей и достигаемая при этом шероховатость. При более низкой шероховатости и с увеличением точности стоимость обработки резко

увеличивается. Наименьшая стоимость соответствует обработке растачиванием при высокой шероховатости и производительности.

Рассмотренные методы механической обработки не только не достаточно производительны, но и технологически несовершенны, поскольку, обеспечивая высокую точность обработки на уровне макрогеометрии, форму и размеры отверстий, они не создают соответствующие ей высокие характеристики на уровне микрогеометрии.

С помощью широко применяемых методов окончательной обработки (шлифование, хонингование, доводка) создается необходимая форма деталей с заданной точностью, но часто не обеспечивается оптимальное качество поверхностного слоя. Оно может быть достигнуто поверхностным пластическим деформированием (ППД), при котором стружка не образуется, а происходит тонкое упрочнение поверхностного слоя. Область эффективного применения ППД в настоящее время достаточно широка и непрерывно расширяется [3]. Среди наиболее распространенных методов ППД рассмотрим следующие.

Раскатывание применяют для изменения диаметра отверстия, получения высокого качества поверхности и осуществляется специальными инструментами – раскатниками, в корпусе которого размещены закаленные ролики или шарики. Раскатывание эффективно при финишной обработке отверстий в высокопластичных материалах и обеспечивает шероховатость обработанной поверхности  $Ra=0,08 - 0,32$  мкм. Шероховатость поверхности детали до раскатывания должна быть на два класса ниже [13].

Недостатком раскатывания является низкая точность размеров и геометрической формы, а также возможный перенеклп поверхности, что приводит к образованию микротрещин и разрушению поверхности в процессе работы.

При выглаживании параметр шероховатости поверхности зависит от его исходного параметра, при этом достигается стабильное уменьшение параметра шероховатости до  $Ra=0,04 - 0,08$  мкм. В результате обработки микроструктура поверхности значительно улучшается - увеличивается твердость, образуются остаточные сжимающие напряжения, благоприятный микрорельеф, все эти качественные показатели способствуют повышению износостойкости, выносливости и усталостной прочности деталей [3].

Широкое применение в качестве финишной операции при обработке отверстий находит высокопроизводительный способ ППД – деформирующее протягивание, применяемое для получения повышенных точности размеров и шероховатости поверхности ( $Ra=0,16 - 0,32$  мкм), улучшения прочности прессового сопряжения деталей и уплотнения поверхностного слоя [14]. Возможность осуществления больших пластических деформаций делает целесообразным использование деформирующего протягивания не только в виде финишной, но и в качестве черновой операции.

Анализируя возможность использования рассмотренных методов ППД в качестве финишной обработки, следует учитывать следующие их особенности:

- большинство методов не повышают геометрической точности поверхности, сохраняя точность, достигнутую на предшествующей операции;
- в связи с созданием сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое при обработке тонкостенных и неравножестких деталей может происходить деформация поверхности 5 – 10 мкм и более;
- в связи с пластическим течением металла при использовании методов ППД на кромках обрабатываемых поверхностей образуются равномерные наплывы металла толщиной 0,03 – 0,3 мм.

Для повышения надежности и долговечности деталей машин применяют различные способы нанесения металлических и полимерных покрытий, применение которых возможно в качестве финишных операций [15].

С точки зрения возможности применения в качестве финишной обработки наибольший интерес представляют те технологии, которые обеспечивают повышение износостойкости трущихся деталей при одновременном восстановлении их размеров. Рассмотрим те из них, которые связаны с увеличением размеров обрабатываемой детали.

Технология химического осаждения (CVD – метод) практически не имеет ограничений по химическому составу применяемых для нанесения материалов, а следовательно, и структуре получаемых покрытий. Частицы могут быть осаждены на всю поверхность обрабатываемой детали. Участки, где покрытия не требуются, защищаются специальными защитными покрытиями [16]. Однако, метод CVD не всегда пригоден для непосредственной обработки многих конструкционных машиностроительных материалов, а высокие температуры осаждения ограничивают возможности использования его в качестве финишной операции.

Метод физического осаждения износостойкого покрытия (PVD – метод), имеет большее применение, так как проще в эксплуатации, осаждение покрытия на поверхность проходит при значительно более низких температурах (~500 °С). Недостаток процесса - сложная подготовка и очистка поверхности, что сильно увеличивает технологическое время обработки.

Электрохимическое осаждение (ЭХО) металлов относится к надежным методам повышения качества поверхности детали. Гальванические покрытия нашли широкое применение в промышленности благодаря широкому выбору материала покрытия и высокой технологичности процесса [17]. ЭХО металлов и сплавов имеет ряд преимуществ: отсутствие термического воздействия на восстанавливаемые детали, получение покрытий с заданной толщиной и физико-механическими свойствами, возможность автоматизации процесса и одновременного восстановления большого числа деталей. К недостаткам метода следует отнести: слабое сцепление нанесенных покрытий с основным металлом, высокая трудоемкость, дороговизна используемого оборудования и химических препаратов, неэкологичность.

Перспективным направлением в области создания наноструктурированных медьсодержащих покрытий является финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО), основанная на использовании в процессе трения явлений схватывания поверхностей и избирательного переноса [18].

По данным авторов [19, 20 и др.] ФАБО позволяет: снизить время приработки деталей в 1,5 – 2 раза, исключить задиры поверхностей трения деталей, повысить несущую способность деталей и соединений, защитить поверхность трения от водородного изнашивания, снизить температуру трения и продлить период работы узла трения при выключении подачи смазки, уменьшить коэффициент трения и тем самым снизить потребление топлива ДВС до 3% и др.

Однако, эффективность процесса ФАБО недостаточно высока, особенно при эксплуатации в условиях высоких удельных нагрузок, когда пленочное покрытие быстро выходит из строя. Кроме того, устойчивое формирование покрытия ограничивается определенной исходной шероховатостью поверхности основы  $0,08 < Ra < 1,5$  мкм [21]. Поэтому различные модификации этого метода требуют дальнейшего совершенствования, в том числе использования совмещенных методов обработки [22].

Следует отметить, что за счет применения известных методов нанесения покрытий повышаются износостойкие и антифрикционные свойства пар трения. Однако, отсутствие возможности формирования оптимальной микрогеометрии, а следовательно и качества поверхности, ограничивают применимость этих методов в использовании в качестве финишной обработки деталей.

Для достижения более высоких эксплуатационных свойств деталей эффективными представляются комбинированные методы обработки [23-24 и др.], суть которых заключается в суммарном воздействии физических, химических и других факторов, а также способов их подвода в зону обработки, что позволяет достигнуть более высокие эксплуатационные свойства деталей. Выбор факторов воздействия определяются техническими требованиями к качеству поверхностей обрабатываемых деталей и технологическими задачами процесса обработки.

Совмещение известных способов позволяет получить комбинированные методы обработки и успешно их использовать в качестве окончательной обработки. При этом возможно усилить положительные стороны составляющих факторов и подавить нежелательные показатели процессов. Однако достичь положительного эффекта за счёт суммирования нескольких видов воздействия не всегда представляется возможным из-за недостаточного объема информации о взаимном влиянии составляющих комбинированных методов.

Вместе с тем направление по совершенствованию существующих финишных технологий за счет использования возможностей комбинированной обработки представляется наиболее актуальным.

**Выводы.** Анализ известных методов финишной обработки отверстий показал следующее. Для достижения высоких геометрических характеристик качества целесообразно использование в качестве финишной обработки отверстий методов механической обработки и ППД за счет срезания (тонкое шлифование, хонингование, суперфиниширование, полирование) и смятия (выглаживание, раскатывание, протягивание) неровностей поверхности. Однако применение методов механической обработки отверстий и ППД не решают вопрос повышения износостойких и антифрикционных свойств поверхности трения столь необходимых при приработке.

Использование методов нанесения покрытий повышают антифрикционные и износостойкие свойства поверхности, однако отсутствует возможность формирования оптимальной микрогеометрии поверхности.

В этой связи, наиболее перспективной в качестве финишной обработки отверстий представляется ФАБО, поскольку наряду с формированием необходимой шероховатости на поверхности трения образуются тонкие приработочные покрытия. Возможность совмещения ФАБО с методами ППД, в частности с деформирующим протягиванием, позволит повысить производительность процесса, а также качество финишной обработки отверстий.

## Список литературы

1. Берсудский А.Л. Технологическое обеспечение долговечности деталей машин на основе упрочняющей обработки с одновременным нанесением антифрикционных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. – Саратов, 2008. – 294 с.
2. Селезньов Е.Л. Аналіз методів фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь/ Е.Л. Селезньов, Ю.П. Шимчук// Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. 2014. – Вип.46. – С.475 – 478.
3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. - М.: Машиностроение, 1987. – 329 с.
4. Красота М.В. Анализ эффективности существующих и перспективных методов обработки деталей с покрытиями /М.В. Красота, И.В. Шепеленко, А.А. Матвиенко/Збірник наукових праць

- Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2014. – №. 27. – С. 99-108.
5. Катков Д.С. Повышение долговечности узлов трения мобильной сельскохозяйственной техники применением триботехнических методов: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.30. – Саратов, 2008. – 227 с.
  6. Синяя Н.В. Повышение ресурса гильз цилиндров двигателей упрочняюще-антифрикционной обработкой: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.30. – Брянск, 2009. – 198 с.
  7. Коломейченко А.В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением рабочих поверхностей комбинированными методами с применением микродугового оксидирования: монография/ А.В. Коломейченко. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2013. – 230с.
  8. Мухамедеева Р.М. Повышение качества обработки отверстий комбинированными режуще-деформирующими розвертками: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Омск, 2004. – 144 с.
  9. Отений Я.Н. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий / Я.Н. Отений, Н.Я.Смольников, Н.В. Ольштынский. Волгоград: РПК «Политехник», 2003. 178 с.
  10. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): учебник / Д.Н.Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
  11. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
  12. Куликов С.И. Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов. – М.: Машиностроение, 1983. – 135 с.
  13. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
  14. Розенберг А.М.Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания/ А.М. Розенберг, О.А. Розенберг. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
  15. Черновол М.И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения/ М.И. Черновол, И.В. Шепеленко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». 2012. – Вип.25(1). – С. 3 – 8.
  16. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. изд. / В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев, С.А. Ищенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. - 312 с.
  17. Черновол М.И. Технологические основы восстановления деталей сельскохозяйственной техники композиционными покрытиями: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.20.03. - Кировоград., 1992. – 502 с.
  18. Гаркунов Д. Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. – №3-5. – С. 20 – 41.
  19. Балабанов В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин / В.И. Балабанов, С. А. Ищенко, В. И. Беклемышев. – М. : Изумруд, 2005. – 192 с.
  20. Шепеленко И.В. Совершенствование процесса финишной антифрикционной безабразивной обработки цапф шестерен гидронасосов /И.В. Шепеленко, В.В.Черкун// РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2012. - №9, - С.32-35.
  21. Шепеленко И.В. Образование антифрикционного покрытия финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработкой / И.В. Шепеленко, В.В. Черкун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – № 3(71). – С. 99–104.
  22. Mykhailo Chernovol. Effectiveness increase in application of FANT of the components of mobile agricultural machines/ Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». 2015. – Вип.45(1). – С. 10 – 13.
  23. Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Учебное пособие в 2 т. Том 2. – Луганск: изд-во Восточно-укр. национ. ун-та им.В.Даля, 2003. – 480 с.
  24. Черновол М.И. Комбинированный метод обработки поверхностей трения/ М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Варума Арифа// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». 2011. – Вип.24(2). – С. 13 – 16.

**Mykhaylo Chernovol, Prof., DSc., Ihor Shepelenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Budar Mohamed R.F., post-graduate**

*Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

**Increasing of quality of perforation finishing**

The work proves that one way to increase the quality of perforations is to enhance their refinement at the stage of finishing operations. This helped to set the aim of the work to review existing methods of finishing refinement of perforations and their influence on the surface quality options.

It has been proved that the application of the methods of mechanical refinement of perforations and surface plastic deformation allows to achieve high geometrical characteristics of surface quality but it does not solve the problem of increasing of hardwearing and antifriction qualities of the friction surface, which is extremely necessary during the process of bedding. The usage of traditional methods of coating application increases antifriction and hardwearing qualities of the surface but we lack the possibility to form the optimal microgeometry of the surface.

Combined refinement allowing to combine the advantages of different methods of perforations finishing refinement has been proposed as the most effective one. For instance, the possibility to combine finishing antifriction nonabrasive refinement with the methods of surface plastic deformation, in particular with deformational drawing, will allow to increase the process productivity and quality of perforations finishing refinement.

**quality, finishing refinement, perforation, combined refinement**

Одержано 10.03.16

**УДК 621.791.9:669.018.25**

**І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: vasylenko\_ivan@mail.ru*

## Фізичні процеси при формуванні композиційних покриттів контактним наварюванням порошкових дротів

З метою підвищення довговічності валів сільськогосподарської техніки важливим є визначення режимів контактного наварювання порошкових дротів для нанесення композиційних покриттів. У статті відображено результати теоретичних досліджень розмірів та геометрії присадного матеріалу та їх зміни в процесі контактного наварювання. Проведені дослідження відкривають можливість теоретичного визначення режимів контактного наварювання порошкового дроту в залежності від потрібної товщини композиційного покриття на деталях сільськогосподарської техніки та його щільності.

**порошковий дріт, контактне наварювання, площа контакту**

**И.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Физические процессы при формировании композиционных покрытий контактной наваркой порошковых проволок**

С целью повышения долговечности валов сельскохозяйственной техники важным является определение режимов контактной наварки порошковых проволок для нанесения композиционных покрытий. В статье отражены результаты теоретических исследований размеров и геометрии присадочного материала и их изменение в процессе контактной наварки. Проведенные исследования открывают возможность теоретического определения режимов контактной наварки порошковой проволоки в зависимости от нужной толщины композиционного покрытия на деталях сельскохозяйственной техники и его плотности.

**порошковая проволока, контактная наварка, площадь контакта**

© І.Ф. Василенко, 2016

**Постановка проблеми.** Значна кількість деталей сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва не витримує запланованого ресурсу роботи, особливо це стосується деталей типу “вал”, зокрема валів посівної техніки [4, 5]. У зв'язку з цим проблема підвищення довговічності валів є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо [1, 2, 3, 6, 8], що найбільш зносостійкими в умовах абразивного зношування є матеріали, що складаються з пластичної матриці та твердого тугоплавкого наповнювача, твердість якого має бути вищою за твердість абразивних зерен.

Найповніше зберегти корисні властивості матеріалів покриття, що частково втрачаються при розплавленні присадного матеріалу, дозволяє контактне наварювання, яке забезпечує нанесення покриття в твердій фазі.

Контактне наварювання – один з різновидів зварювання металів тиском. Процес контактного наварювання здійснюється пластичним деформуванням присадного матеріалу, нагрітого спільно з матеріалом деталі у зоні деформації імпульсами електричного струму. Найбільш технологічними матеріалами для контактного наварювання композиційних покриттів є заздалегідь сформовані матеріали, зокрема порошкові дроти.

Порошковий дріт складається з тонкої металевої оболонки, яка заповнена порошковим матеріалом, який власне визначає властивості покриття [3].

Оболонка захищає порошковий матеріал від надмірного окислення при нагріванні, створює напружений стан близький до всебічного стиску, попереджує електророзрядний процес, який призводить до перегріву та розплавлення частинок. Вона сприяє нагріванню та попередньому ущільненню порошкового шару до проходження електричного струму через порошок, оскільки на початку імпульсу струм іде через оболонку. Це попереджає передчасне зварювання частинок між собою й утворення покриття з надмірною пористістю [8].

**Постановка завдання.** Для визначення режимів контактного наварювання важливе значення має інформація про розміри та геометрію присадного матеріалу, а також їх зміну в процесі контактного наварювання. Метою даної роботи є аналітичне дослідження деформаційних процесів при контактному наварюванні.

**Виклад основного матеріалу.** Основним процесом при формуванні покриттів контактним наварюванням є термопластична деформація присадного матеріалу. Характер цієї деформації при наварюванні порошкових матеріалів у металевій оболонці визначає конфігурацію та геометричні розміри навареного валика, міцність зчеплення оболонки з деталлю, на яку наноситься покриття, а також фізико-механічні й експлуатаційні властивості нанесених композиційних покриттів.

Зауважимо також, що пластична деформація при контактному наварюванні має дві стадії протікання: холодне деформування до увімкнення імпульсу струму при високій пористості порошкового матеріалу в оболонці та гаряче деформування при нагріванні матеріалу порошкового дроту електричним струмом, що проходить через матеріал.

Внаслідок попередньої холодної деформації збільшується площа контакту між оболонкою порошкового дроту та деталлю, змінюється щільність порошку в оболонці, що призводить до зміни умов нагрівання й деформування порошку порошкового дроту, а також приконтактного об'єму деталі.

Для теоретичного розрахунку режимів контактного наварювання необхідно знати такі величини:  $h$  – товщину та ширину  $b$  порошкового дроту після холодного деформування, площу контакту між оболонкою й деталлю  $F_k$ , щільність порошкового матеріалу у металевій оболонці  $n_l$ . Вказані величини залежать від багатьох факторів:

тиску, фізико-механічних властивостей та геометричних розмірів складових порошкового дроту, діаметра ролика-електрода, коефіцієнта тертя між матеріалами оболонки й деталі, щільності порошку в оболонці та ін.

Дослідження процесу і параметрів контактного наварювання, проведені у роботах [9] показують, що встановлений процес характеризує сукупність рівнянь:

$$D_e \alpha_1^2 + D_d \alpha_2^2 = 2(d - h); \quad (1)$$

$$\varphi_2 D_e = \varphi_1 D_d; \quad (2)$$

$$\xi + K_1 - K_2 > \varphi_1 + \varphi_2, \quad (3)$$

де  $D_e, D_d$  – відповідно діаметри ролика-електрода та деталі;

$d$  – товщина порошкового дроту до деформування;

$K_1, K_2$  – коефіцієнти тертя порошкового дроту по матеріалу ролика-електрода і деталі;

$\alpha_1, \alpha_2$  – відповідно кути захвату ролика-електрода і деталі;

$\varphi_1, \varphi_2$  – відповідно кути тертя між електродом та порошковим дротом і між деталлю та порошковим дротом.;

$\xi = \frac{Q}{P}$  – зведена рівнодійна сил, що діють на порошковий дріт у зазорі між

роликом-електродом і деталлю;

$Q$  – рівнодійна сил;

$P$  – зусилля притискування ролика-електрода.

Характер розподілу сил у зоні КН відображає рис. 1. Рівнодійна сил дорівнює

$$Q = T_1 + T_2 - P_1 \sin \varphi_1 - P_2 \sin \varphi_2, \quad (4)$$

де  $T_1, T_2$  – відповідно сили тертя між електродом та порошковим дротом і між деталлю та порошковим дротом,  $P_1, P_2$  – сили тиску ролика-електрода та деталі на порошковий дріт.

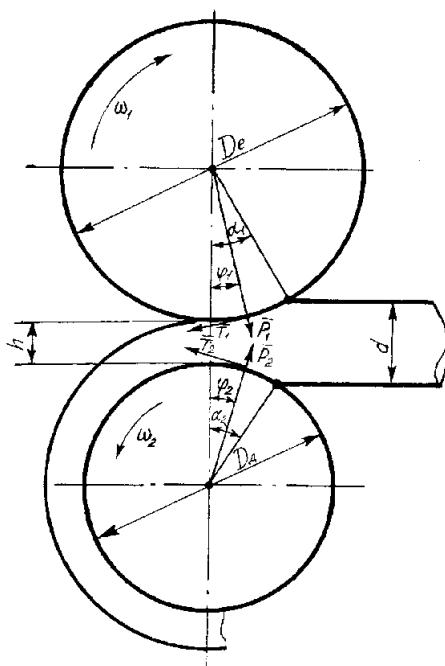


Рисунок 1 – Схема сил, що діють на порошковий дріт при контактному наварюванні

Внаслідок малості кутів  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  вираз (4) матиме вигляд

$$Q = T_1 + T_2 - P_1\varphi_1 - P_2\varphi_2. \quad (5)$$

Для встановленого процесу деформування необхідне виконання умови [9]:

$$\frac{\alpha_1}{\varphi_1} = \frac{\alpha_2}{\varphi_2}. \quad (6)$$

Оскільки  $\varphi(\alpha)$  є функцією, що характеризує процес, розкладемо її у ряд Тейлора в околі точки  $\varphi = 0$  і припустимо, що всі похідні, починаючи з другої у точці  $\varphi = 0$  дорівнюють нулю, а також  $\varphi(0) = 0$ ,

$$\varphi(\alpha) \approx \varphi'(0)\alpha = \frac{\alpha}{\psi}, \quad (7)$$

де  $\psi$  – величина, яка характеризує усталеність процесу контактного наварювання і залежить від фізико-механічних характеристик складових матеріалів порошкового дроту. Цю величину можна визначити, знаючи характер зміни тиску по дузі захвату ролика-електрода, тобто епюру  $P(\Theta)$  – сили реакції при  $0 \leq \Theta \leq \alpha$ .

Рівнодійна сил спрямована під кутом  $\varphi$ , який можна визначити з виразу:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\int_0^\alpha P(\Theta) \sin \Theta d\Theta}{\int_0^\alpha P(\Theta) \cos \Theta d\Theta}, \quad (8)$$

де вирази в чисельнику та знаменнику – відповідні проекції рівнодійної сил на осі OY і OX.

Дослідження [9] показують, що залежність  $P(\Theta)$  найчастіше має вигляд (рис. 2) і може описуватися співвідношенням

$$P(\Theta) = \begin{cases} P_{\max}, & 0 \leq \Theta \leq \gamma \\ P_{\max} \frac{\alpha - \Theta}{\alpha - \gamma}, & \gamma \leq \Theta \leq \alpha, \end{cases} \quad (9)$$

де  $\gamma$  – нейтральний кут, що визначає максимальне значення нормального контактного тиску.

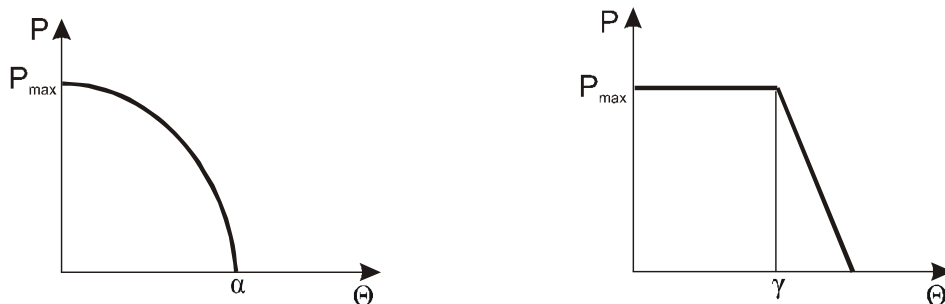


Рисунок 2 – Схема розподілу нормального контактного тиску за довжиною дуги захвату

Враховавши (9) при обчисленні інтегралів у чисельнику та знаменнику виразу (8) і спростивши вирази, виходячи з малості кутів і розкладу їх функцій у ряд Тейлора, маємо

$$\varphi \approx \frac{\alpha}{3}. \quad (10)$$

Якщо схема розподілу тиску описується функцією [9]

$$P(\Theta) = P_{\max} (\cos \Theta - \cos \alpha), \quad (11)$$

то кут тертя дорівнює  $\varphi = \frac{3\alpha}{8}$ , а величина  $\psi$  набуває значення  $\psi = \frac{8}{3} \approx 2,7$ .

Розв'язуючи систему рівнянь (1)–(2), отримаємо

$$\varphi_1 = \frac{2}{\psi} \sqrt{\frac{(d-h)D_o}{(D_e + D_o)D_e}}, \quad (12)$$

$$\varphi_2 = \frac{2}{\psi} \sqrt{\frac{(d-h)D_e}{(D_e + D_o)D_o}}. \quad (13)$$

Підставивши (12) і (13) у вираз (3), маємо

$$\xi + K_2 - K_1 > \frac{2}{\psi} \sqrt{\frac{(d-h)(D_e + D_o)}{D_e D_o}}. \quad (14)$$

При схемі розподілу тиску (11) після деяких тригонометричних перетворень матимемо

$$P = P_{\max} \left( \frac{\alpha^8}{64} + \frac{\alpha^3}{3} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (15)$$

Оскільки  $\alpha^8 \ll \alpha^3$ , то

$$P = P_{\max} \frac{\alpha^{3/2}}{\sqrt{3}}. \quad (16)$$

Для ролика-електрода згідно з роботою [9] зусилля притискування визначається за виразом

$$P_1 = \frac{P}{\cos \varphi_1 - K_1 \sin \varphi_1} = P(1 + K_1 \varphi_1). \quad (17)$$

Використавши вирази (16) і (17), після деяких перетворень маємо

$$P_1 = \frac{\sqrt{3} P_{\max} (1 + K_1 \varphi_1)}{(\psi \varphi_1)^{3/2}}, \quad (18)$$

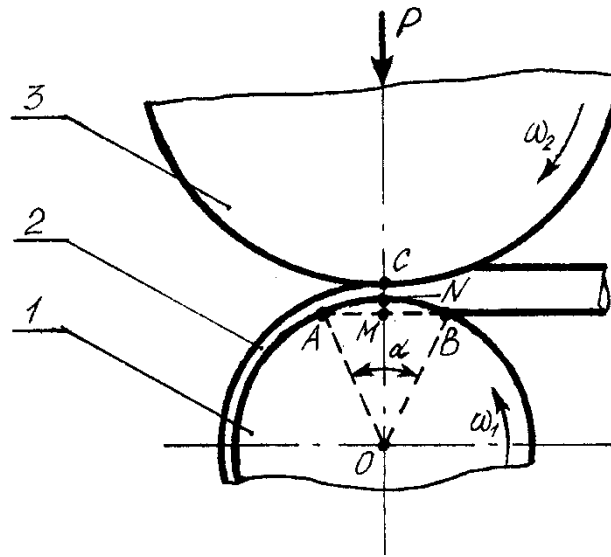
де  $\varphi_1$  визначається за виразом (12).

За час нагрівання протягом одного імпульсу струму при неперервному обертанні відновлюваної деталі частина деформованого порошкового дроту в точці А (рис. 3) виходить з-під контакту зварювального ролика. В цей час у точку В надходить нова ділянка дроту, яка нагрівається імпульсом струму і деформується.

Виходячи з рис. 3, довжину контактної площинки можна розрахувати за виразом

$$l_{\kappa} = \frac{1}{2} D_o \arccos \left( 1 - \frac{d-h}{D_o} \right), \quad (19)$$

$$\text{де } \left( 1 - \frac{d-h}{D_o} \right) = \cos \frac{\alpha}{2}.$$



1 – відновлювана деталь; 2 – порошковий дріт; 3 – ролик-електрод

Рисунок 3 – Схема для визначення геометричних розмірів площинки покриття, що наварюється одиничним імпульсом струму

Величину площі контактної площинки визначимо за розрахунковою довжиною  $l_k$  та шириною навареного валика  $b$

$$F_k = 2l_k b. \quad (20)$$

Площа перерізу навареного валика визначається за виразом

$$S_e = K_o \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (21)$$

де  $K_o$  – коефіцієнт осьової деформації порошкового дроту.

З іншого боку, площа перерізу дорівнює:

$$S_e = b \cdot h. \quad (22)$$

Порівнюючи праві частини виразів (21) та (22), отримаємо

$$b = K_o \frac{\pi d^2}{4h}, \quad (23)$$

$$K_o = \frac{4bh}{\pi d^2}. \quad (24)$$

Вираз (24) потребує проведення аналізу процесу деформації порошкового дроту під час контактного наварювання. За даними роботи [9] у випадку контактного наварювання  $K_o \approx 0,7$ .

Підставивши вирази (19) і (23) у (20), маємо вираз для визначення площі контакту і об'єму валика, що наварюється за час одиничного імпульсу:

$$F_k = \frac{\pi d^2 K_o D_o}{4h} \arccos \left( 1 - \frac{d-h}{D_o} \right), \quad (25)$$

$$V_1 = \frac{\pi d^2 K_o D_o}{4} \arccos \left( 1 - \frac{d-h}{D_o} \right). \quad (26)$$

Площа контакту і об'єм валика, навареного одиничним імпульсом, суттєво залежить як від параметрів режиму наварювання (сили струму, тривалості імпульсу

струму, зусилля на електроді), так і від геометрії порошкового дроту. Зауважимо, що згідно з дослідженнями [9], зміна товщини оболонки суттєво не впливає на площу контакту.

Одержані дані відкривають можливість теоретичного визначення режимів контактної наварювання порошкового дроту в залежності від потрібної товщини композиційного покриття на деталях сільськогосподарської техніки та його щільності, тобто для даної величини деформації складових порошкового дроту.

## Список літератури

1. Белоусов В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами / В. Я. Белоусов. – Львов: Вища школа, 1984. – 180 с.
2. Василенко І.Ф. Дослідження властивостей композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів / І.Ф.Василенко // Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2014.– Вип. 27.– С. 60-67.
3. Василенко І.Ф. Вибір матеріалів порошкових дротів для нанесення композиційних покриттів/ І.Ф.Василенко// Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2015. – Вип. 28 – С. 154-159.
4. Василенко І.Ф. Дослідження динаміки спрацювання деталей посівних машин / І.Ф.Василенко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник “Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин”. – 2003.– Вип. 33. – С. 341-345.
5. Василенко І.Ф. Результати спостережень за спрацюванням деталей посівних машин у господарствах Кіровоградського району/ Збірник наукових праць КДТУ “Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація”. – 2003. – Вип. 13. – С. 352-358.
6. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
7. Дорожкин Н.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин / Н.Н.Дорожкин, В.Н.Гимельфарб – Минск: Ураджай, 1987. – 140с.
8. Красота М.В. Дослідження характеристик покриттів, нанесених контактним наварюванням композиційних дифузійно-легованих порошків системи Fe-B-C/ М.В.Красота, І.Ф.Василенко, І.В.Шепеленко// Вісник Харківського державного технічного університету сільськогосподарства “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – Харків: ХДТУСГ, 2004.– Вип.23.– С. 247-250.
9. Пресняков В. А. Разработка и исследование процесса электроконтактной наварки порошковых материалов в металлической оболочке: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 1992. – 16 с.

**Ivan Vasylenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

### **Physical processes in the formation of composite coatings resistance welding flux-cored wires**

In order to determine the necessary conditions must be analytically explore occur during contact welding deformation processes.

The work was analytically studied thermoplastic deformation of the filler flux-cored wire. Thus we considered two stage flow deformation: cold deformation before switching current impulse with a high porosity of the particulate material in the shell and hot deformation by heating of material flux-cored wire electric shock. The studies provided information on changes in the size and shape of flux-cored wire in the process of contact welding.

The findings open the possibility of theoretically determining the mode of contact welding flux-cored wires according to the required thickness and density of the composite coating.

**flux-cored wire, contact welding, contact area**

Отримано 11.01.16

**УДК 621.9.06**

**І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахніченко, канд. техн. наук, А.В. Кропивна, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: vakhnichenkodima@rambler.ru*

## **Визначення крутного навантаження МПС при свердлінні експериментальним методом**

В статті розглянуто експериментальне дослідження розподілу крутного навантаження між штангами МПС при виконанні свердлильних операцій. Представлено розроблену та складену експериментальну установку із спеціальними тензодатчиками та вимірвальним блоком. В роботі наведено результати експериментальних досліджень навантаження виконавчого органа по вісі та паралельно вісі симетрії МПС, за отриманими даними побудовані графіки поверхонь відгуку. **верстат, гексапод, МПС, верстат з МПС, верстат з механізмом паралельної структури**

**И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, Д.В. Вахниченко, канд. техн. наук, А.В. Кропивная, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

### **Определение крутящей нагрузки МПС при сверлении экспериментальным путем**

В статье рассмотрены экспериментальное исследование распределения крутящего нагрузки между штангами МПС при выполнении сверлильных операций. Представлена разработанная и составленная экспериментальная установка со специальными тензодатчиками и измерительным блоком. В работе приведены результаты экспериментальных исследований нагрузки исполнительного органа по оси и параллельно оси симметрии МПС, по полученным данным построены графики поверхностей отклика.

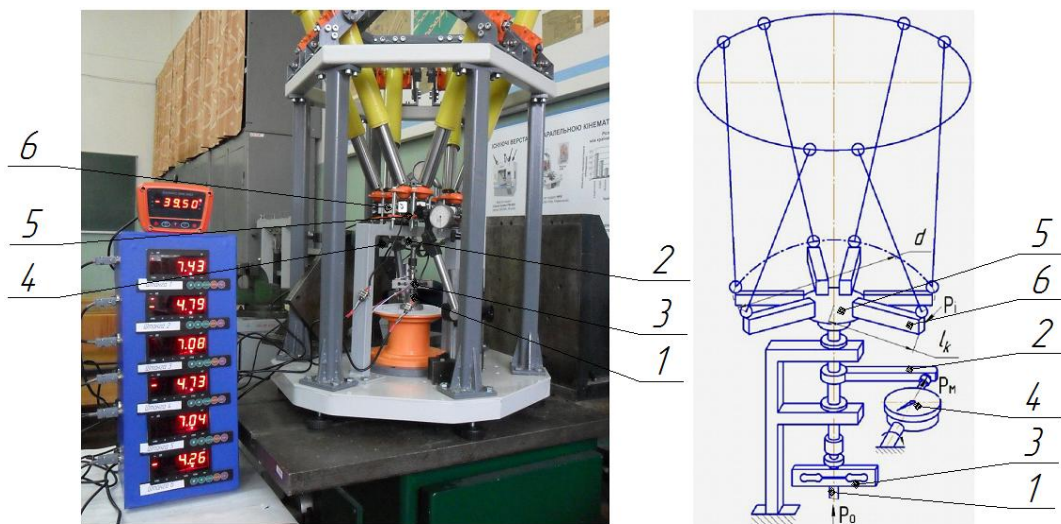
**станок, гексапод, МПС, станок с МПС, станок с механизмами параллельной структуры**

Виконуючи свердлильні операції, конструкція гексапода сприймає силове навантаження, яке визначається умовами роботи системи та особливостями виконання заданої операції. Для визначення цього силового навантаження було складено відповідну розрахункову схему процесу свердління. У процесі обробки деталі виникають осьова сила різання  $P_o$  та крутний момент різання  $M_p$ , які діють на свердло і відповідно передаються на конструкцію гексапода.

Осьова сила різання створюється приводами, які забезпечують рух штанг в осьовому напрямку, що реалізує рух платформи, на якій закріплено привід обертання свердла. В попередніх дослідженнях [3] було визначено розподіл осьового навантаження між штангами. Крутний момент різання на інструменті створюється двигуном, розміщеним на рухомій платформі, що передає аналогічний момент на рухому платформу.

Для перевірки правильності результатів теоретичних розрахунків розподілу крутного моменту різання при виконанні свердлильних операцій виконана розробка схеми, методики та конструкції установки для експериментальних досліджень. Експеримент проводився на установці, де використовувалися пристрої осьового навантаження та крутного моменту. При виконанні досліджень контролювались осьове навантаження ( $P_o$ ), навантаження в штангах ( $P_i$ ), крутний момент різання ( $M_p$ ). Навантаження на штанги проводилися при різній висоті рухомої платформи та різному її зміщенні.

Експериментальна установка складалася з експериментального зразка верстату з МПС, вмонтованих в конструкцію тензодатчиків, блоку живлення (~12В, 400 Гц), вимірювального блоку, датчика осьового навантаження (рис.1). Для виводу та обробки отриманих даних, використовувався вимірювальний блок із вбудованим аналого-цифровим перетворювачем.



1 – пристрій осьового навантаження; 2 – пристрій крутного навантаження; 3 – датчик осьового навантаження; 4 – динамометр; 5 – рухома платформа; 6 – датчик сил крутного навантаження

Рисунок 1 – Дослідна установки та її схема для визначення крутного навантаження МПС по вісі його симетрії сумісно з осьовим навантаженням при компоновці (3×2)×(3×2)

Для обробки інформації, що надходила з тензодатчиків, та виведення її на вимірювальний блок, була використана вимірювальна схема, яка дає можливість фіксувати розподіл навантаження від крутного навантаження на штанги.

В роботі розглянуто осьове та крутне навантаження ВО по вісі симетрії МПС та при різних положеннях рухомої платформи по висоті та при різній величині зміщення центру рухомої платформи від вісі симетрії МПС (Рис.1) для компоновки (3×2)×(3×2).

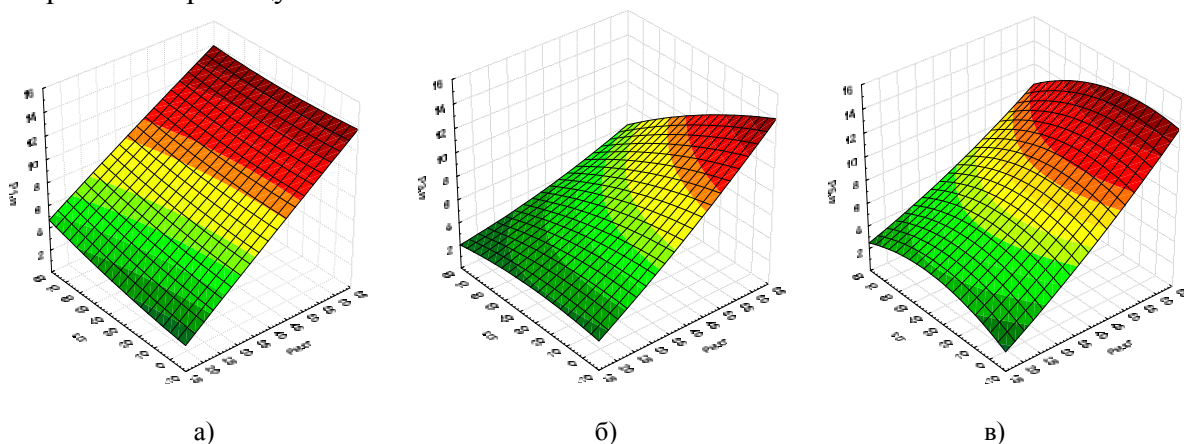
Результати отримані при виконанні експериментальних досліджень занесені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень при навантаженні ВО по вісі та паралельно вісі симетрії МПС при компоновці (3×2)×(3×2).

№ експ	Вихідні дані					Експериментальні дані сил, кг					
	P <sub>m</sub> , кг	P <sub>0</sub> , кг	r, мм	ω,град	δ,град	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	20	0	0	27,583	22,617	3,84	-2,98	3,57	-2,83	3,72	-2,92
2			35	27,583	22,617	4,35	-3,55	3,57	-2,89	4,71	-2,26
3			70	27,583	22,617	5,02	-4,23	2,39	-3,17	3,64	-1,31
4		20	0	27,583	22,617	4,52	-2,56	4,27	-2,35	4,69	-2,33
5			35	27,583	22,617	4,68	-3,23	3,42	-2,86	4,52	-2,34
6			70	27,583	22,617	5,11	-3,68	2,86	-3,21	3,44	-1,43
7		40	0	27,583	22,617	4,34	-2,31	4,67	-2,56	4,37	-2,81
8			35	27,583	22,617	4,25	-3,54	3,29	-2,91	4,38	-2,67
9			70	27,583	22,617	4,79	-3,73	2,46	-3,08	3,61	-1,42

Для виконання аналізу експериментальних даних досліджувалися показники значимості впливу розглядаємих факторів ( $P_M$ ,  $P_o$ ,  $r$ ) на розподіл осьового навантаження між штангами. Так як штанги розташовані в досліджуваному варіанті конструкції попарно симетрично, і зміщення платформи виконується перпендикулярно вісі симетрії МПС достатньо виконати аналіз для трьох штанг, інші три будуть носити той же характер розподілу навантаження.

На рис. 2 зображено поверхні відгуку впливу сили крутного моменту ( $P_M$ ) та зміщення рухомої платформи ( $r$ ) на сили  $P_1$ ,  $P_3$  та  $P_5$ , оскільки ці фактори мають найбільший вплив на розподіл крутного моменту між штангами. Розрахункові значення  $G$  – критерію для зазначеної серії дослідів  $G_{P_1} = 0,1763$ ;  $G_{P_3} = 0,1786$ ;  $G_{P_5} = 0,1902$  підтверджують однорідність дисперсії, оскільки розрахункові значення критерію Кохрена не перевищують табличного.



а – вплив крутного навантаження та зміщення ВО на силу діючу на штангу  $P_1$ ;  
б – на штангу  $P_3$ ; в – на штангу  $P_5$

Рисунок 2 – Поверхні відгуку впливу сили крутного моменту ( $P_M$ ) та зміщення рухомої платформи ( $r$ ) на сили  $P_1$ ,  $P_3$  та  $P_5$  для компоновки  $(3 \times 2) \times (3 \times 2)$

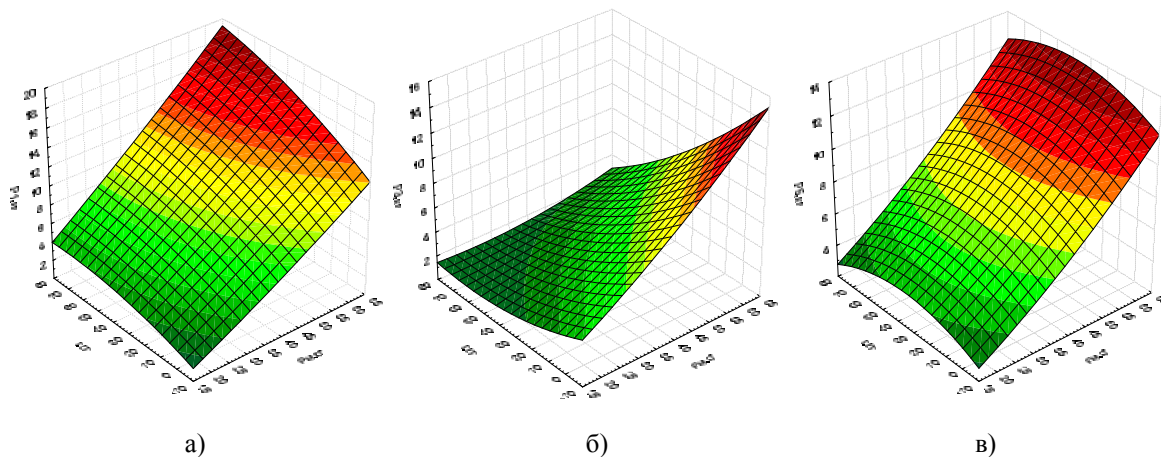
Також в роботі розглянуто крутне навантаження на МПС для компоновки  $6 \times (3 \times 2)$  (Рис.3).



Рисунок 3 – Визначення крутного навантаження по вісі симетрії МПС сумісно з осьовим навантаженням при компоновці  $6 \times (3 \times 2)$

Експерименти було проведено відповідно до матриці дрібнофакторного експерименту, а для чистоти даних, які отримувалися та для виключення з розрахунку помилково отриманих значень сил, кожен з паралельних дослідів було перевірено за декількома критеріями, які виявляють та виключають можливу помилку.

На рис. 4 зображено поверхні відгуку впливу сили крутного моменту ( $P_M$ ) та зміщення рухомої платформи ( $r$ ) на сили  $P_1$ ,  $P_3$  та  $P_5$ . Значення  $G$  – критерію для другої серії дослідів мають наступні значення  $G_{P_1} = 0,1909$ ;  $G_{P_3} = 0,1728$ ;  $G_{P_5} = 0,1919$ , що підтверджує однорідність дисперсії.



а – вплив крутного навантаження та зміщення ВО на силу діючу на штангу  $P_1$ ;  
б – на штангу  $P_3$ ; в – на штангу  $P_5$

Рисунок 4 – Поверхні відгуку впливу сили крутного моменту ( $P_M$ ) та зміщення рухомої платформи ( $r$ ) на сили  $P_1$ ,  $P_3$  та  $P_5$  для компоновки  $6 \times (3 \times 2)$

Результати досліджень дозволяють стверджувати, що вказані конструктивні параметри мають різний вплив на окремі складові силових навантажень гексапода, в тому числі різної структури, а тому їх вибір повинен здійснюватися за умови комплексного урахування усіх оцінюваних складових рухів та конкретного призначення верстата.

**Висновок.** За результатами вимірювань під час визначення крутного навантаження встановлено, що сили навантаження між парами з двох штанг розподіляється однаково, а в самій парі штанги сприймають навантаження з різницею в межах до 20÷30% і мають різний знак, оскільки одна штанга сприймає деформації на розтяг, а інша – стискання. Різниця між різними компоновками складає 38÷45%.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / І.І. Павленко. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Вахніченко Д.В. Особливості силового навантаження гексаподів при свердлінні під кутом / Д.В. Вахніченко, І.І. Павленко // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”: Машинобудування. – 2015. – №73. – С.119-123.
3. Павленко І.І. Експериментальне дослідження силового навантаження МПС / І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, В.М. Кропивний // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2014. – Вип.27. – С.45-49.

**Ivan Pavlenko, Prof., DSc., Dmitriy Vakhnichenko, PhD tech. sci., Alyona Kropivna, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**Determination of torsional load MPK drilling experimentally**

The purpose of this work is an experimental study of the distribution of torque between the load bars MPS when the drilling operations. The article presents a developed and produced an experimental setup with special strain gauges and measuring unit.

The results of experimental studies with a load of the working body of the axis, and parallel to the axis of symmetry of the MPK which graphs of response surfaces. The research results suggest that these design parameters have different effects on the individual components of the power loads hexapod, including various structures, so their choice should be subject to comprehensive consideration of all components of the estimated movements and specific purpose of the machine.

By results of measurements when determining twisting loadings it is established that loading forces between couples from two bars it is distributed equally, and in the couple of a bar perceive loadings with a difference to 21% and have a different sign as one bar perceives deformations on stretching, and another - compression. The difference between various configurations of PKM makes  $38 \div 45\%$ .

**machine, hexapod, PKM, machinetoол MPK, machine of parallel structure**

Одержано 22.02.16

**УДК 681.5.015**

**В. О. Кондратець, проф., д-р. техн. наук, А. М. Мацуй, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*  
*E-mail:matsuyan@mail.ru*

## Дослідження перемішування матеріалів у кульовому млині як багатовимірному керованому об'єкті

Встановлено, що осереднення твердого у кульовому млині відбувається достатньо швидко, практично за 34 с. Більш проблематичним є перемішування твердого з водою. Запропоновано воду у кульовий млин до необхідного розрідження пульпи подавати трьома потоками – на поверхню вихідної руди, у приймальний пристрій завиткового живильника до граничного розрідження пісків класифікатора та безпосередньо у горловину кульового млина, розбризкуючи її в широкій зоні завантаження.

**кульовий млин, перемішування твердого, твердого і води**

**В. А. Кондратець, проф., д-р техн. наук, А. Н. Мацуй, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кіровоград, Україна*

**Исследование перемешивания материалов в шаровой мельнице как многомерном управляемом объекте**

Установлено, что осреднение твердого в шаровой мельнице осуществляется достаточно быстро, практически за 34 с. Более проблематичным является перемешивание твердого с водой. Предложено воду в шаровую мельницу до необходимого разжижения пульпы подавать тремя потоками – на поверхность исходной руды, в приемное устройство улиткового питателя до граничного разжижения песков классификатора и непосредственно в горловину шаровой мельницы, разбрызгивая ее в широкой зоне загрузки.

**шаровая мельница, перемешивание твердого, твердого и воды**

**Постановка проблеми.** В Україні у сировині металургійної галузі понад 50% складає частка, отримана збагаченням бідних залізних руд, якою є магнетитові концентрати. Найбільша частка витрат при їх отриманні припадає на подрібнення вихідної руди у кульових млинах, де допускаються значні збитки, причиною яких є ряд

факторів, включаючи і перемішування матеріалу в них. Перемішування матеріалу у кульовому млині зумовлює ефективне подрібнення руди. Неякісне перемішування приводить до перевитрати електричної енергії, куль, футеровки, корисного компоненту та недоотримання готового подрібненого продукту, що є причиною збільшення собівартості концентрату. Оскільки собівартість магнетитового концентрату на вітчизняних збагачувальних фабриках вища порівняно з зарубіжною продукцією, тема статті, спрямованої на її зниження, є актуальною. Матеріали даної публікації отримані у процесі виконання науково-дослідної роботи «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (державний реєстраційний номер 0115U003942).

Перемішування різних матеріалів є однією з найбільш розповсюджених технологічних операцій в ряді галузей промисловості. Мета перемішування може бути самою різною. Здебільшого – це згладження коливань матеріалу в потоках, коливань матеріального складу, забезпечення рівномірностей концентрації окремих частинок і речовин у сумішах та ін. Не дивлячись на важливість даної задачі, її розв'язанню приділялось мало уваги. Навіть не розроблені чіткі критерії, які дозволяють як оцінити можливості окремих способів перемішування, так і сам процес перемішування в ході його проведення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для потреб технологічних процесів збагачення розроблялися способи змішування матеріалів у циклах подрібнення в цілому і окремо в кульових млинах. Так, в роботі [1] детально розглянуто динамічні характеристики перемішувача з рециклом, куди входить кульовий млин і спіральний класифікатор. Доведено, що при збільшенні циркулюючого навантаження і транспортного запізнювання ефективність роботи перемішувача зростає. І.Г. Грінман [2], розглядаючи схему перемішування, яка відповідає циклу подрібнення, також стверджує, що амплітуда випадкових коливань на виході млина суттєво зменшується з ростом циркулюючого навантаження. Він одночасно відмічає, що перемішування всередині об'єму барабана млина, яким ми нехтували, приводить до згладжування коливань, періоди яких менше власного часу технологічного агрегату. Осереднення матеріалу безпосередньо в кульових млинах досліджують Е.В. Прокоф'єв, А.Ю. Троп, В.М. Аршинський, А.Дж. Лінч, Д.Ф. Келсел. Вони розглядають кульовий млин як агрегат, на виході якого отримують перемішаний продукт. Відомо, що осереднений в результаті перемішування продукт ефективно подрібнюється, включаючи в активну роботу практично всю довжину барабана млина, продуктивність якого за певних умов пропорціональна його діаметру в степені 2,5 та довжині. В той же час задача перемішування матеріалу вздовж барабана млина ніким не вивчалася, хоч є достатньо важливою. Її важливість доводиться в роботі [3].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є дослідження перемішування матеріалу вздовж барабана кульового млина, що працює у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором, для його удосконалення.

**Виклад основного матеріалу.** У збагачувальній галузі для подрібнення руди крупністю 12...25 мм широко використовують кульові млини, що працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором. Кульовий млин схематично можна подати у вигляді рис.1, з якого видно, що він є складним багатовимірним об'єктом. У ньому під дією вхідних параметрів формуються вихідні, які точніше назвати не вихідними, а параметрами стану, оскільки вони характеризують внутрішній стан технологічного агрегату. Кожний параметр стану вносить свою частку у кінцевий результат – отримання готового подрібненого продукту у розвантаженні млина. Подрібненню в млинах підлягають лише крупні класи руди, оскільки знову

створений готовий продукт отримується лише від подрібнення таких шматків твердого [4]. Більш крупну руду краще подрібнюють великорозмірні кулі, а дрібну – малорозмірні [4]. Найбільш ефективно подрібнюють тверде різнорозмірні кулі, які у барабані млина розташовуються зі збільшенням діаметра від завантаження до розвантаження [5]. Під дією куль шматки руди неперервно зменшуються у розмірі в процесі руху матеріалу вздовж барабана кульового млина. Зменшення витрат енергії на подрібнення можливе при більших швидкостях прикладання значних силових навантажень, які забезпечують високу степінь дроблення шматка руди при кожному його навантаженні [6]. Тому у процесі подрібнення необхідно створювати умови саме таких навантажень окремих шматків руди.



Вхідні параметри: 1 – кулі; 2 – руда; 3 – крупність руди; 4 – тип руди; 5 – вода; 6 – піски класифікатора.  
 Вихідні параметри: 1 – об'єм (маса) кульового навантаження; 2 – характеристика крупності кульового навантаження; 3 – перемішування (осереднення) матеріалу; 4 – розрідження пульпи у млині; 5 – завантаженість млина рудою

Рисунок 1 – Схематичне зображення кульового млина за вхідними та вихідними параметрами

На вхід кульового млина поступають вихідна руда, піски механічного односпірального класифікатора і вода. При завантаженні кульового млина рівномірне перемішування матеріалу не досягнуто. Такий стан відповідає певній частці довжини барабана кульового млина. Неосереднене тверде відрізняється тим, що в ньому існують зони, де крупні частинки сконцентровані надмірно (відповідає перевантаженню) і де відповідно концентрація крупних частинок на таку ж частку недостатня для номінального завантаження. Імовірність виникнення зон з номінальною кількістю крупних частинок майже виключається. Це означає, що кулі працюють не ефективно, оскільки при великій концентрації зменшується сила удару, а при малій вони співударяються практично з футеровкою, руйнуючи одне одного. Ефективність подрібнювання погіршується ще й в наслідок того, що в початковій частині барабана знаходяться кулі малих розмірів. Отже, важливою є проблема перемішування матеріалу саме в початковій частині барабана кульового млина, а не в точці розвантаження.

Розрізняють два види перемішування матеріалів – сухих дроблених продуктів з метою осереднення їх складу за крупністю і сухого матеріалу з водою з метою осереднення і закріплення необхідної кількості води за твердим, тобто, створення пульпи певної консистенції. У кульовому млині ці два процеси відбуваються одночасно.

Розглянемо спочатку перемішування у кульовому млині сухого дробленого матеріалу при обертанні барабана. Оскільки перемішуванням сухої руди у кульових млинах ніхто не займався, використаємо дані досліджень, отримані стосовно будівельних матеріалів [7]. Дослідження виконувались на перемішувальних машинах неперервної дії. У якості критерію завершення процесу перемішування

використовувалося зрівноваження моментів опору руху кожної з лопатей установки, що фіксувалося електронним пристроєм за стабілізацією сигналів перетворювачів зусилля. Перехідні процеси знімалися при подачі на вхід установки східчастого діяння у вигляді прирощення вхідної продуктивності  $Q_{вх}$  і фіксування наростання вихідної продуктивності  $Q_{вих}$  у часі. Досліди виконувалися на піску та щебені (рис.2). З графіків рис.2 видно, що перехідні процеси відбуваються по-різному. З них витікає, що дрібнозернистий і округлений за формою матеріал (піскові продукти) перемішуються більш швидко порівняно зі значно крупнішим матеріалом, який складено з шматків більш неправильної форми з гострими краями (щебінь). Однак рівномірність розподілу фракцій для пісового продукту настає через 30 с, а щебеня через 34 с. Різниця у часі перемішування двох різних продуктів не є суттєвою, а сама тривалість осереднення порівняно короткою. Більш швидкими темпами наростає якість середовища на дрібних і округлених за формою продуктах, однак вона є достатньо високою і у випадку крупних продуктів з гострими краями. За 10 с вона покращується на 25%, а за 20 с складає більше половини. Враховуючи, що кульовий млин є ідеальним перемішувачем, а перемішування здійснюється більш ефективно у мокрому стані, можливо стверджувати, що у даних технологічних агрегатах проблеми осереднення матеріалу практично не існує.

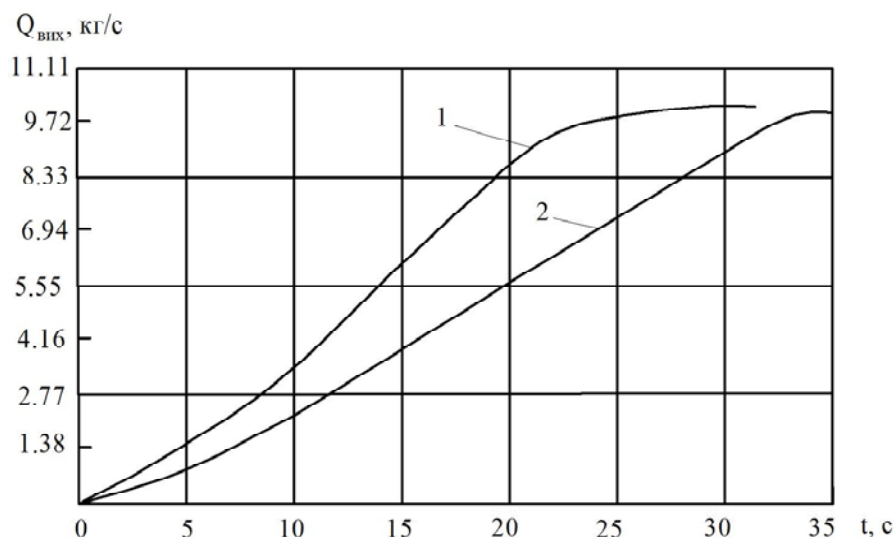
При перемішуванні руди у кульовому млині виникає час запізнювання  $\tau$ , який дорівнює відношенню довжини осереднення матеріалу до середньої швидкості його руху вздовж осі барабана. Враховуючи характер перехідного процесу змішування (рис.2), передаточну функцію кульового млина за даним параметром можливо подати у вигляді

$$W_{ZM}(p) = \frac{k_{ZM}}{T_{ZM}p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (1)$$

де  $p$  – оператор Лапласа;

$k_{ZM}$  – передаточний коефіцієнт кульового млина відповідно параметру змішування;

$T_{ZM}$  – стала часу за параметром змішування.



1 – на піску; 2 – на щебені

Рисунок 2 – Перехідні характеристики промислового змішувача сипких матеріалів різної крупності і форми

Амплітудна частотна характеристика кульового млина без запізнювання відповідно (1) дорівнює

$$A_{ZM}(\omega) = k_{ZM} / \sqrt{T_{ZM}^2 \omega^2 + 1}, \quad (2)$$

де  $\omega$  – колова частота.

Відповідно графікам рис.2, сталу часу  $T_{ZM}$  у даних процесах можливо приймати в межах 10, 20 і 30 с. Враховуючи, що у даних процесах  $k_{ZM}=1$ , вираз (2) прийме вигляд

$$A_{ZM}(\omega) = 1 / \sqrt{T_{ZM}^2 \omega^2 + 1}. \quad (3)$$

Амплітудні частотні характеристики процесу змішування матеріалів подані на рис.3. Їх аналіз показує, що при можливих сталих часу  $T_{ZM}$  низькочастотні входні коливання, які відповідають керуючим діям, проходять через нього, а більш високочастотні, викликані нерівномірністю розташування матеріалу на конвеєрній стрічці, через технологічний агрегат практично не проходять. Це дозволяє ефективно керувати завантаженням кульового млина навіть у коротких циклах. Нерівномірність розташування матеріалу на конвеєрній стрічці практично не буде впливати на даний процес.

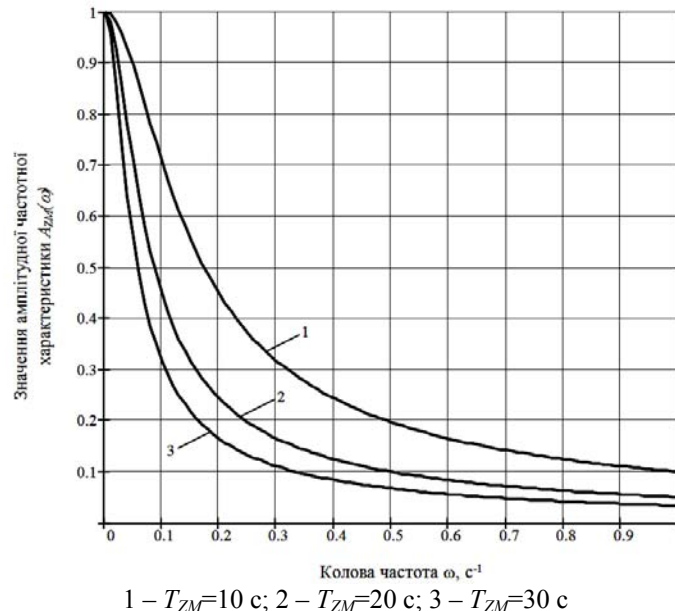


Рисунок 3 – Амплітудні частотні характеристики кульового млина відповідно параметру перемішування матеріалу

Враховуючи сказане, необхідно дослідити змішування сухого матеріалу, пісків і води. Замкнений цикл являє собою подрібнювальну систему неперервної дії. Вона характеризується незмінністю подачі та видалення матеріалу, причому гранулометричний склад пульпи в млині також залишається незмінним. Кульовий млин можливо розглядати як змішувач, в якому відбувається руйнування частинок. Якщо млин розглядати як ідеальний змішувач, то гранулометричний склад його продукту повинен співпадати з гранулометричним складом матеріалу, що знаходиться в будь-якій точці технологічного агрегату. Подрібнювальний агрегат можна розглядати як такий, що складається з ряду поперечних ділянок, в кожній з яких міститься однакова кількість матеріалу [8]. При такому поданні матеріал, що міститься в кінцевій ділянці, виявляється еквівалентним за складом продукту млина. На протязі однієї стадії

перемішування певна частина матеріалу кожної ділянки буде пересуватися до розвантажувального кінця млина, інша – залишатися в межах тієї ж ділянки, а остання – переміщатися до завантажувального кінця в наслідок зворотного перемішування [8]. Закономірності переносу матеріалу на кожній ділянці будуть аналогічними. Однак при цьому існує загальний рух матеріалу за напрямом до розвантажувального кінця. Якщо матеріал з'явився на ділянці продукту млина, то це означає, що він вийшов з системи і не може бути підданим зворотному перемішуванню. Таке перемішування матеріалу відбувається в основному за рахунок поздовжнього руху пульпи, викликаного різницею в рівнях завантаження і розвантаження та динамічного тиску потоку, що падає на її поверхню.

Додаткове перемішування пульпи здійснюється при обертанні барабана, оскільки її частина захоплюється кулями і транспортується на верхню відмітку. При цьому створюється спадний потік матеріалу, який повертається разом з падаючими кулями у вихідний об'єм пульпи, здійснюючи таким чином її замкнутий рух. Такий рух приводить до того, що частина пульпи переміщується по спіралеподібній кривій до розвантажувального кінця. Інтенсивне перемішування пульпи у кульовому млині разом з подрібненням твердого приводить до ефективного осереднення вмісту різних частинок руди в одиниці об'єму матеріалу не в розвантаженні технологічного агрегату, а значно раніше – на початкових ділянках руху складної суміші від завантажувальної горловини.

Густина пульпи в розвантаженні млина зв'язана з густиною пульпи в його барабані через імовірнісний коефіцієнт  $R_p$  [9], який знаходиться в межах  $0 \dots 1$ . Перше граничне теоретичне значення  $R_p = 0$  відповідає повному розшаруванню твердої та рідкої фаз пульпи перед розвантаженням, а друге  $R_p = 1$  – ідеальному перемішуванню.

Густина пульпи в барабані млина можливо визначити виразом [9]

$$\gamma_b = \frac{Q_{bT} \delta_T T_T}{Q_{bT} T_T + Q_{bB} T_B}, \quad (4)$$

де  $\delta_T$  – густина твердого;

$Q_{bT}$ ,  $Q_{bB}$  – відповідно об'ємна витрата твердого та води, що подається у млин;

$T_T$ ,  $T_B$  – час перебування відповідно твердої фази та води в барабані млина.

Густина пульпи у розвантаженні млина можна визначити виразом

$$\gamma_p = \frac{Q_{pT} \delta_T}{Q_{pT} + Q_{pB}}, \quad (5)$$

де  $Q_{pT}$ ,  $Q_{pB}$  – відповідно об'ємна витрата твердого та води з кульового млина.

Оскільки в усталеному режимі роботи млина  $Q_{pT} = Q_{bT}$ ,  $Q_{pB} = Q_{bB}$ , то густина пульпи на виході технологічного агрегату можна подати залежністю

$$\gamma_p = \frac{Q_{bT}}{Q_{bT} + Q_{bB}}. \quad (6)$$

Значення імовірнісного коефіцієнта

$$R_p = \frac{\gamma_p}{\gamma_b} = \frac{Q_{bT} T_T + Q_{bB} T_B}{(Q_{bT} + Q_{bB}) T_T}. \quad (7)$$

З залежності (7) слідує, що при  $T_T \neq T_B$  млин володіє деякими класифікуючими властивостями. При цьому виконується нерівність  $0 < R_p < 1$ . Це може відбуватися при малих густинах пульпи та невеликій швидкості обертання барабана. Якщо  $T_T = T_B$ , млин

веде себе як ефективний перемішувач [10]. При цьому  $R_p = 1$ . Це може відбуватися при значних густинах пульпи [9]. Оскільки залежність вмісту класу – 0,071 мм у зливці млина від вмісту твердого в пульпі має максимум при співвідношенні тверде/рідке 81...82% [11], то у виробничих умовах кульові млини експлуатують при високих вмістах твердого, що робить пульпу достатньо в'язкою. Отже, кульовий млин є ідеальним перемішувачем. В ньому матеріал добре осереднений і пульпа має рівномірно розподілені частинки твердого різних розмірів у її об'ємі.

Уайтен прийняв допущення, що кульовий млин можливо подати однією ділянкою перемішування (модель ідеального перемішування), що суттєво спростило розрахунки [8], однак не дає відповіді на стан початкової ділянки технологічного агрегату. А.Дж.Лінч стверджує, що подрібнювальний апарат може розглядатись як такий, що складається з ряду поперечних ділянок, в кожній з яких міститься однакова кількість матеріалу [8]. Тому, опираючись на це ствердження, застосуємо залежності (4) – (6) до першої ділянки барабана кульового млина. Зокрема, для неї значення імовірного коефіцієнта  $R_{p1}$  прийме вигляд

$$R_{p1} = \frac{\gamma_{p1}}{\gamma_{b1}} = \frac{Q_{bT1}T_{T1} + Q_{bB1}T_{B1}}{(Q_{bT1} + Q_{bB1})T_{T1}}, \quad (8)$$

де  $Q_{bT1}$ ,  $Q_{bB1}$  – відповідно об'ємна витрата твердого та води, що подається і виходить з першої ділянки барабана кульового млина;

$T_{T1}$ ,  $T_{B1}$  – відповідно час перебування твердої фази і води в першій ділянці барабана кульового млина.

Перша ділянка барабана кульового млина має свої особливості, які полягають у тому, що піски в технологічний агрегат входять зі зв'язаною водою, яка від них не відділяється. З врахуванням цього залежність (8) необхідно подати у вигляді

$$R_{p1} = \frac{\gamma_{p1}}{\gamma_{b1}} = \frac{Q_{bT1}T_{T1} + Q_{bBZ}T_{T1} + Q_{bBB}T_{B1}}{(Q_{bT1} + Q_{bB1})T_{T1}}, \quad (9)$$

де  $Q_{bBZ}$ ,  $Q_{bBB}$  – відповідно об'ємна витрата зв'язаної з пісками і вільної води в млин;

$$Q_{bB1} = Q_{bBZ} + Q_{bBB}.$$

Промодельюємо процес перемішування матеріалу в першій ділянці кульового млина з використанням залежності (9) при  $Q_p=50$ кг/с (180т/год), циркулюючому навантаженні 50; 100 і 150%, густині пульпи в млині 2200 кг/м<sup>3</sup>, густині твердого 3300 кг/м<sup>3</sup> і незмінній вологості пісків 12%.

При циркулюючих навантаженнях відповідно 50; 100 і 150% отримані наступні рівняння для визначення імовірного коефіцієнта  $R_{p1}$

$$R_{p50} = 0,592 + 4,09T_{B1}, \quad (10)$$

$$R_{p100} = 0,625 + 3,75T_{B1}, \quad (11)$$

$$R_{p150} = 0,645 + 3,54T_{B1}. \quad (12)$$

Час перебування твердої фази у першій ділянці барабана млина визначається її довжиною і горизонтальною швидкістю руху пульпи. Приймаємо час руху пульпи для типових процесів подрібнення вихідної руди. Час перебування рідкої фази пульпи в першій ділянці млина може коливатись в значних межах, оскільки залежить від багатьох факторів. В основному воду в кульовий млин подають за допомогою спеціального трубопроводу. Вона зі значною продуктивністю подається в одну точку

барабана млина і в ній накопичується. Така не зв'язана з твердим вода самопливом, під дією рухомого твердого матеріалу і куль легко переміщується у сусідню ділянку кульового млина. Тому час перебування рідкої фази може складати лише певну частку перебування твердої фази в першій ділянці. Вона може складати навіть п'яту частину  $T_T$ . Виходячи з цього, в табл.1 приведені дані зміни значень  $R_p$  від часу перебування води в першій ділянці барабана кульового млина. В залежності від умов перемішування час перебування води в першій зоні може змінюватись від вказаного найменшого значення теоретично до часу перебування в ній твердої фази.

З даних табл.1 видно, що імовірнісний коефіцієнт  $R_p$  в першій ділянці барабана може мати достатньо низькі значення в межах 0,674...0,716 або близьких до них при інших продуктивностях кульового млина. Це в основному викликано ефективним витісненням з першої ділянки в сусідню води, яка не зв'язана з її твердим. Як видно, імовірнісний коефіцієнт  $R_p$  має достатньо низьке значення, що підкреслює низьку ефективність перемішування матеріалу на першій ділянці барабана млина. Низька ефективність перемішування буде і на сусідніх ділянках, оскільки з першої вода витісняється суцільним потоком, який погано розповсюджується між усім масивом твердого. Дійсно,  $R_p$  прийме значення, що дорівнює 1, лише десь під кінець довжини барабана млина. Це означає, що більш-менш ефективна робота куль в наслідок вирівнювання і розрідженості, і концентрації крупного твердого буде забезпечуватись після половини довжини барабана кульового млина.

Таблиця 1 – Значення імовірнісного коефіцієнта  $R_p$  при зміні часу перебування рідкої фази пульпи в першій ділянці барабана млина

Величина циркулюючого навантаження, %	Час перебування води в першій ділянці барабана млина, с								
	72	108	144	180	216	252	288	324	360
50	0,674	0,715	0,756	0,796	0,837	0,878	0,919	0,960	1,0
100	0,700	0,738	0,775	0,812	0,850	0,888	0,925	0,962	1,0
150	0,716	0,751	0,787	0,822	0,870	0,893	0,928	0,964	1,0

Імовірнісний коефіцієнт  $R_p$  в якості критерію оцінювання перемішування матеріалу в кульовому млині, відображає лише один бік процесу – утримання сумішню води. Якщо суміш в конкретній ділянці матеріалу по довжині млина води не втрачає, тобто  $T_T=T_B$ , то ефективність перемішування твердого з водою вважається ідеальною -  $R_p=1$ . Для оцінки осереднення матеріалу при перемішуванні твердого з водою можливо також використати критерій, що полягає в урівноваженні моментів опору руху кожної лопаті механізму, який перемішує матеріал. Широке розповсюдження отримав критерій, що полягає в досягненні однорідної суміші матеріалів. Однак вказані критерії стосовно кульового млина прямо використати не можливо. Тому найбільш доцільним буде шлях, спрямований на покращення умов перемішування. Тобто, ставиться задача затримання води в початковій ділянці барабана кульового млина – вирівнювання часу перебування в ній твердого і води. Розв'язання цієї задачі дозволить стрімко покращити ефективність роботи куль в першій та найближчих до неї ділянках барабана, що забезпечить підвищення продуктивності кульового млина, якості подрібнення та неперевитраченню електричної енергії, куль і футеровки.

В процесі розв'язання цієї задачі найбільш ефективним є шлях усунення недоліків, які мають базові умови перемішування твердого з водою у кульовому млині. Перший основний недолік – це створення обводнених зон в першій ділянці та витіснення води у сусідню ділянку барабана млина. Відмічений недолік можливо

ліквідувати зв'язуванням води з твердим матеріалом на вході в першу ділянку барабана або до неї. Зв'язана з твердим вода не може бути витісненою в сусідню ділянку. На процес цього зв'язку сильно впливає поверхня твердого. Змочене тверде стає рухливим, оскільки ефективно діє змащення і взаємне переміщення частинок твердого стає набагато легшим. У такому стані тверде відразу включається в перемішування і ефективно осереднюється вже в першій ділянці барабана, не впливаючи негативно на сусідні ділянки. Посилити ефект перемішування в першій ділянці, крім того, можливо за допомогою крупних куль, які необхідно вводити на вхід млина, компенсуючи зношені молотильні тіла та футеровку.

Показник вологості продуктів збагачення вміщує гравітаційну, капілярну, плівкову та гігроскопічну вологу. Гігроскопічна волога зв'язана з продуктом. У даному випадку діє так звана вільна (зовнішня) волога – це плівкова, капілярна і гравітаційна. Плівкова волога утримується на поверхні твердих частинок руди у вигляді плівок молекулярними силами зчеплення між молекулами твердого і води. Капілярна волога заповнює частково або повністю пори – капіляри, які утворилися в просторі між окремими частинками продукту збагачення. Вода тут утримується під впливом сил поверхневого натягу увігнутих водяних менісків у капілярах. Кількість вологи, що утримується в капілярах, залежить від пористості масиву продукту збагачення. Гравітаційна волога заповнює некапілярні проміжки між частинками маси продукту збагачення. Ця волога не піддана впливу молекулярних і капілярних сил і рухається між частинками твердого під дією сил тяжіння. Утримання води матеріалом в значній мірі визначається вологоутримуючою здатністю продуктів збагачення. Вона в основному залежить від гранулометричного складу і змочуваності поверхні твердого. Гранулометричний склад твердого обумовлює пористість і розвиток поверхні маси частинок. Чим дрібніші частинки твердого, тим більше створюється капілярів, в яких утримується волога. Тому найбільш проблематичною є перша ділянка барабана млина, де крупність продукту найбільша. Високі густини пульпи в млинах сприяють створенню розгалуженої системи капілярів. Змочуваність характеризує молекулярну взаємодію води з поверхнею частинок і визначає можливість утримувати капілярну вологу. Руди конкретного родовища володіють конкретним значенням цього показника [12]. Крім того, рухома пульпа може утримувати значну кількість води без розшарування.

Піски класифікатора містять певну кількість вологи. Для забезпечення руху пульпи в пісковий жолоб додають деяку кількість води. Такий потік пульпи легко проходить через завитковий живильник і поступає в кульовий млин. Руда в кульовий млин поступає сухою, окремо подається вода. Ці два потоки необхідно частково об'єднати. Враховуючи, що плівкова волога залежить від поверхні твердого, а поверхні частинок утворюють капіляри, пропорційно поверхні вихідної руди до неї перед завантаженням у кульовий млин необхідно подати частину загального потоку води. Вона створить плівкову, капілярну і гравітаційну вологу, яка надійно буде утримуватись потоком вихідної руди. Другу частину загального потоку води слід додати до пісків класифікатора перед входом їх у приймальний пристрій завиткового живильника. Розріджені до граничного значення рівня піски добре будуть контактувати з крупним продуктом вихідного живлення, легко пропускаючи крупні і дрібні шматки руди у своє середовище. Залишкову частину загального потоку води, яка повинна забезпечити задане розрідження пульпи, необхідно подати в центральну частину барабана млина, але розбризкуючи її в обширній зоні завантаження вихідної руди. Такі операції забезпечуть ефективне перемішування матеріалу вже в першій ділянці барабана млина і продуктивну роботу куль не лише в початковій, а і більш віддалених

ділянках кульового млина, гарантуючи задане розрідження пульпи у будь-якому його перерізі, що забезпечить покращення подрібнення руди вздовж всього барабана і включення в активну роботу значної початкової ділянки барабана млина та підвищення його продуктивності на 7%, зменшення перевитрати електричної енергії, куль, футеровки та корисного компоненту.

**Висновки.** Отже, перемішування матеріалу в кульовому млині повинно закінчуватись якомога швидше. Для цього воду, призначену для забезпечення необхідної розрідженості пульпи слід подавати до входження матеріальних потоків у кульовий млин – на поверхню дробленого продукту, в піски класифікатора, розріджуючи їх до граничного значення, та частково в зону завантаження шляхом розбризкування на значній площі. Ефективність осереднення твердого в значній мірі буде визначатись як точністю прогнозування розрідження пульпи, так і точністю автоматичного керування цим параметром. Якісне перемішування матеріалу забезпечить зменшення витрат на виробництво магнетитового концентрату і тим самим сприятиме зниженню його собівартості.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки адаптивних систем керування розрідженням пульпи у кульових млинах, що працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором, з охопленням контурів автоматичного керування подачею води на поверхню руди, у піски класифікатора та безпосередньо в горловину технологічного агрегату.

## Список літератури

1. Лукас В.А. Динамические характеристики смесителя с рециклом / В.А. Лукас, М.Г. Фиалко, Ю.А. Руднык // Модели и алгоритмы управления процессами добычи и обогащения полезных ископаемых: сб. статей Уральского политехнического института и Свердловского горного института.– Свердловск: Изд. УПИ, 1976. – С.53-56.
2. Гринман И.Г. Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов / Гринман И.Г. – Алма-Ата: Изд. Акад. Наук Казахской ССР, 1964. – 212с.
3. Кондратец В.О. Моделирование розподілу крупного твердого з метою ідентифікації завантаження кульових млинів / В.О. Кондратец, М.О. Карчевська // Матеріали Міжнародної наукової конференції [Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту] (м. Євпаторія, Україна, 18-22 травня 2009 року). Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С.68-70.
4. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Изд. 3-е, перераб. и доп. /Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
5. Кондратец В.О. Теоретичне дослідження усталених і перехідних режимів роботи куль та футеровки в млинах / В.О. Кондратец, О.М. Рева, М.О. Карчевська // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2008. – №21. – С. 187-196.
6. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007. – 296с.
7. Автоматизация производственных процессов в дорожном строительстве / [Цикерман Л.Я., Берлинер М.А., Васильковский А.М. и др.]. – М.: Транспорт, 1972.- 316 с.
8. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения / Линч А. Дж.: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981.- 342с.
9. Прокофьев Е.Ф. Упрощенная модель процесса мокрого измельчения в мельницах направленного действия / Е.Ф. Прокофьев, А.Е. Троп, В.М. Аршинский // Вопросы автоматического управления процессами обогащения: труды Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева. – Свердловск: Изд. СГИ, 1968. – №52. – С.21-28.
10. Kellsall D.F.A. Study of breakage in a small continuous open-circuit wet ball mill / D.F.A. Kellsall // Canad Mining J. – 1965. – №10. – p. 25-29.
11. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов / [Шинкоренко С.Ф., Маргулис В.С., Николаенко В.П. и др.]: под ред. С.Ф. Шинкоренко. – М.: Недра, 1964. – 527с.
12. Руденко К.Г. Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках / К. Руденко, М. Шемаханов. – М.: Недра, 1967. – 372с.

**Vasily Kondratets, Prof., DSc., Anatolii Matsui, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**The research of materials mixing in a ball mill as a multidimensional managed object**

The aim of work is to study the mixing of materials along the drum of the ball mill, which works in a closed circuit with mechanical single-qualifier for its improvement.

The ball mill as a multidimensional object has four output value. In this article a study performed on one of them - the parameter of the mixing materials, which is characterized, on the one hand, averaging the size of the solid, on the other hand, by mixing the solid with water. It is found that the averaging of the solid is not very dependents on its shape and size, in ball mill it happens sufficiently rapidly for 34 seconds, practically continuously improving the performance for a given time interval. More problematic is the mixing of the solid and water, which under the existing conditions is carried on a length of 1/4 ... 1/3 mill drum and which in consequence, does not actively participate in the grinding of the ore. Proposed that the water in a ball mill should be fed to the required dilution of the pulp by the three streams - to the surface of the original ore, the receiver cochlear feeder to the classifier boundary liquefaction sand directly into the throat of a production unit, spraying it into a wide area load.

The proposed approach supplying water into a ball mill provides inclusion 1/4 ... 1/3 the length of the drum in efficient crushing of ore, which greatly improves the performance of his work.

**ball mill, mixing solid, solid with water**

Одержано 23.11.15

**УДК 621.74**

**В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук,**

**В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А.В. Ломакін**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*

*E-mail: spherical@mail.ru*

## **Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних виливків чавунних цильпесів**

Розглядається використання методу математичного моделювання для визначення часу початку і закінчення процесу кристалізації легованих чавунів у кокілі в залежності від хімічного складу сплаву та для прогнозування співвідношення між кількістю ледебуриту, що визначає зносостійкість цильпесів (молотних циліндрів), та кількістю аустеніто-графітної евтектики

**цильпес, легований чавун, хром, кокіль, затвердіння, структура, моделювання**

**В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А. В. Ломакин**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировград, Украина*

### **Исследование влияния кинетики кристаллизации на свойства кокильных отливок чугуновых цильпесов**

Рассматривается использование метода математического моделирования для определения времени начала и окончания процесса кристаллизации легированных чугунов в кокиле в зависимости от химического состава сплава и для прогнозирования соотношения между количеством ледебурита, определяющего износостойкость цильпесов (мельющих цилиндров), и количеством аустенито-графитной евтектики

**цильпес, легированный чугун, хром, кокіль, затвердевание, структура, моделирование**

© В.М. Ломакін, В.В. Клименко, В.В. Пукалов, А.В. Ломакін, 2016

**Постановка проблеми.** Розрахунок і оптимізація властивостей кокільних виливків неможливі без адекватного моделювання температурних полів в системі виливок – ливарна форма. Швидкість охолодження чавунних цильпібсів (молольних циліндрів) має такий же значний вплив на їх структуру як і хімічний склад металу, тому отримання виливків із заданою структурою можливе тільки при оптимальному поєднанні цих важливих факторів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для дослідження процесу затвердіння та охолодження виливка циліндричної форми в кокілі математична модель має враховувати ряд особливостей, як загальних, що характеризують такий процес в цілому, так і специфічних, притаманних лише технології кокільного лиття. До перших з них слід віднести вплив перехідної двохфазної зони, що утворюється в інтервалі температур кристалізації, і хімічного складу сплаву на процес затвердіння виливка. До других – термічний опір шару теплоізоляційного покриття, що наноситься на робочу поверхню кокілю, і конструкцію ливарної форми [1, 2].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є вивчення впливу швидкості затвердіння і модифікуючих присадок хрому на структуроутворення молольних тіл циліндричної форми в кокілі для підвищення їх ударно-абразивної зносостійкості.

**Виклад основного матеріалу.** При розробці математичної постановки задачі затвердіння циліндру в кокілі була використана універсальна різницева схема без явного виокремлення у виливку границі розділу фаз. Важливим при використанні такої схеми є принцип “згладжування” теплоємності по температурі. Як відомо, при рівноважній температурі фазового переходу  $T=T_{кр}$  (кристалізації або плавлення) енергія теплової системи  $W$ , як функція температури, має стрибок величиною  $L$ . Ця величина є ентальпією (теплотою) фазового переходу [3]:

$$W = \int_0^T c(T)dT + L \times \eta(T - T_{кр}), \quad (1)$$

де  $c(T)$  – теплоємність, як функція температури;  
 $\eta(T - T_{кр})$  – функція температури.

Тут, очевидно, функція  $\eta(T - T_{кр})$  має розрив при  $T = T_{кр}$ :

$$\eta(\Delta T) = \begin{cases} 1, & \Delta T \geq 0; \\ 0, & \Delta T < 0; \end{cases} \quad (2)$$

де  $\Delta T = T - T_{кр}$ .

Тоді, враховуючи що  $\frac{\partial \eta(\Delta T)}{\partial (\Delta T)} = \delta(\Delta T)$  – дельта-функція Дірака, рівняння теплопровідності приймає вигляд [4]:

$$\rho[c(T) + L \times \delta(\Delta T)] \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right], \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина сплаву, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – час, с;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності сплаву, Вт/(м×К);

$r$  – радіус-вектор, м.

Для переходу до різницевої схеми, що реалізується чисельним методом скінченних різниць, замінимо функцію Дірака  $\delta(T - T_{кр})$  наближеною дельта-подібною, чи “розмазаною”  $\delta$ - функцією:  $\delta(T - T_{кр}, \Delta) > 0$ , де  $\Delta$ - величина половини температурного інтервалу  $2\Delta$ , на якому  $\delta$ - функція відрізняється від нуля. Це “розмазування” еквівалентне заміні на інтервалі  $(T_{кр} - \Delta, T_{кр} + \Delta)$  розривної функції  $\eta(T - T_{кр})$  неперервною функцією  $\eta(T - T_{кр}, 2\Delta)$  такою, що  $\delta(\Delta T, \Delta) = \eta'(\Delta T)$ . Тоді, приймаючи

$$\left. \begin{aligned} T_{кр} &= \frac{T_L + T_S}{2}; \\ 2\Delta &= T_L - T_S; \\ \Delta &= T_L - T_{кр} = T_{кр} - T_S; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

можливо за допомогою згладженої функції  $\delta(T - T_{кр}, \Delta)$  описати процес затвердіння вилівка циліндричної форми в інтервалі температур ліквідус ( $T_L$ ) – солідус ( $T_S$ ). Функція  $\delta(\Delta T, \Delta)$  в даній роботі була підібрана наступним чином:

$$\delta(T - T_{кр}, \Delta) = \begin{cases} 0; T > [(T_{кр} + \Delta) = T_L]; \\ \frac{1}{2\Delta} = \frac{1}{T_L - T_S} \equiv const, T_S < T < T_L; \\ 0; T < [(T_{кр} - \Delta) = T_S]. \end{cases} \quad (5)$$

При цьому  $\delta(T - T_{кр}, \Delta)$  аналогічно як і функція  $\eta(\Delta T, 2\Delta)$  є неперервною.

Таким чином вводиться “згладжена” або спектральна ефективна теплоємність  $\bar{c}(T)$ :

$$\bar{c}(T) = c(T) + L \times \delta(T - T_{кр}, \Delta). \quad (6)$$

Рівняння теплопровідності при цьому приймає наступний вигляд:

$$\bar{\rho} \bar{c}(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right], \quad (7)$$

де функцію спектральної ефективної теплоємності для рідкої фази можна замінити постійною  $c_p$ , а для твердої фази –  $c_T$ , тобто :

$$\bar{c}(T) = \begin{cases} c_p, T > T_L; \\ \frac{c_p + c_T}{2} + \frac{L}{T_L - T_S}, T_S < T < T_L; \\ c_T, T < T_S \end{cases} \quad (8)$$

Згідно з формалізованою постановкою задачі затвердіння рівняння (7), доповнене відповідними початковим та граничним умовами, вирішували за допомогою персонального комп'ютера типу IBM по спеціально розробленій програмі. Для

моделювання були обрані три типи хромистого чавуну: I тип –  $Cr < 1\%$ , II тип –  $1\% < Cr < 5\%$ , III тип –  $Cr > 20\%$ .

На рис. 1 представлені результати чисельного та експериментального досліджень. На розрахункових кривих охолодження циліндричного виробу розміром 25\*38 мм чітко видно початок і кінець кожної із стадій процесу: 1) відведення теплоти перегріву; 2) затвердіння в інтервалі температур та 3) охолодження. Високохромистий сплав твердне в досить вузькому інтервалі температур, практично при постійній температурі, тому на розрахунковій кривій його охолодження спостерігається фаза стояння ліквідусу.

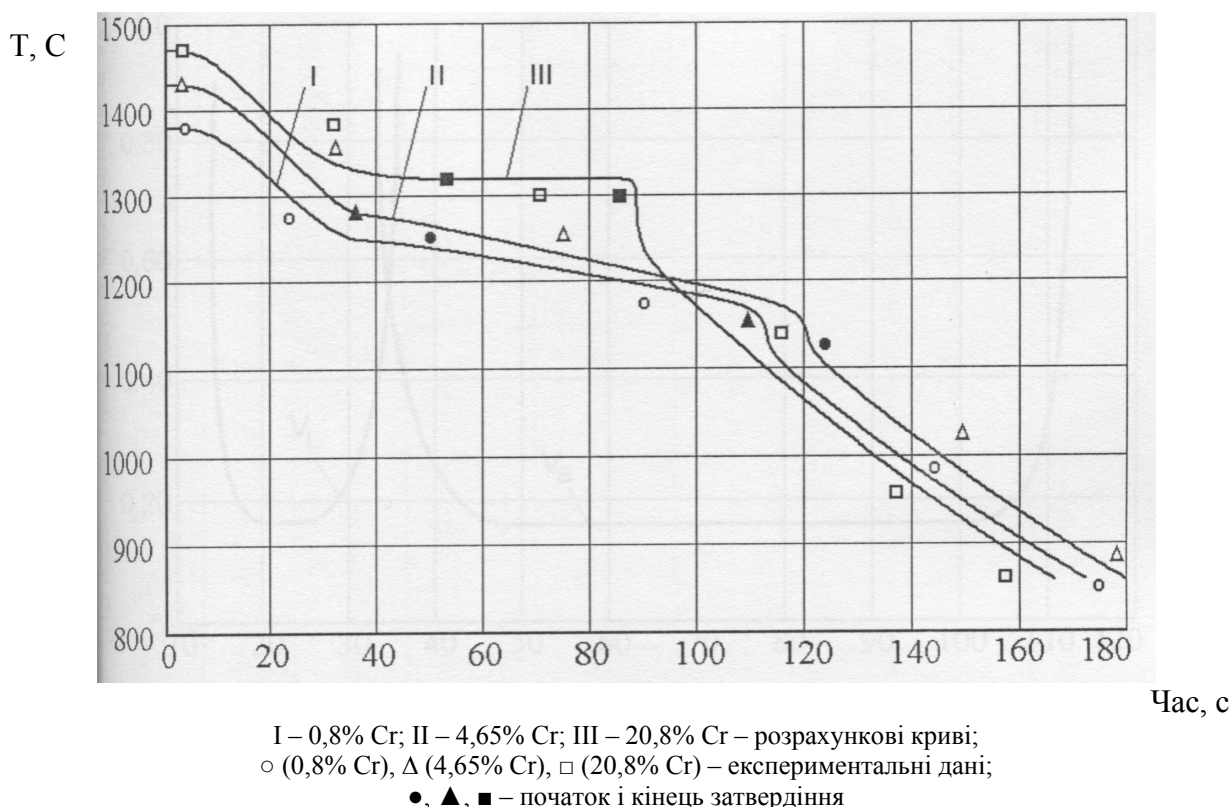


Рисунок 1 – Зміна температури в центрі виливка Ø25 мм

Для визначення характеру затвердіння циліндру із хромистого чавуну, що містить зазначений вище вміст хрому, розрахована кінетика затвердіння. Як видно із рис. 1 і рис. 2, в порожнині діаметром 25 мм, у процесі затвердіння низькохромистого (або середньохромистого) чавуну спочатку утворюється двохфазна зона, яка з часом збільшується. За перші ~60 с границя ліквідусу досягає центру виливка. При цьому метал, що кристалізується, знаходиться в перехідному твердо-рідкому стані по всьому перерізу порожнини кокілю. Потім температура поверхні циліндру знижується до температури солідусу і починається затвердіння металу у напрямку центра виливка. В даному випадку має місце змішаний характер процесу затвердіння, що складається з послідовної та об'ємної кристалізації.

Циліндр із високохромистого чавуну (ВХБЧ) твердне послідовно у вузькому температурному інтервалі. В процесі кристалізації вздовж радіуса (R) у виливку одночасно присутні три фази: рідка, перехідна твердо-рідка та тверда. При цьому, якщо тверда кірка з часом збільшується, то перехідна двохфазна зона практично не змінюється в розмірах і переміщується перед наростаючою твердою фазою (рис. 2).

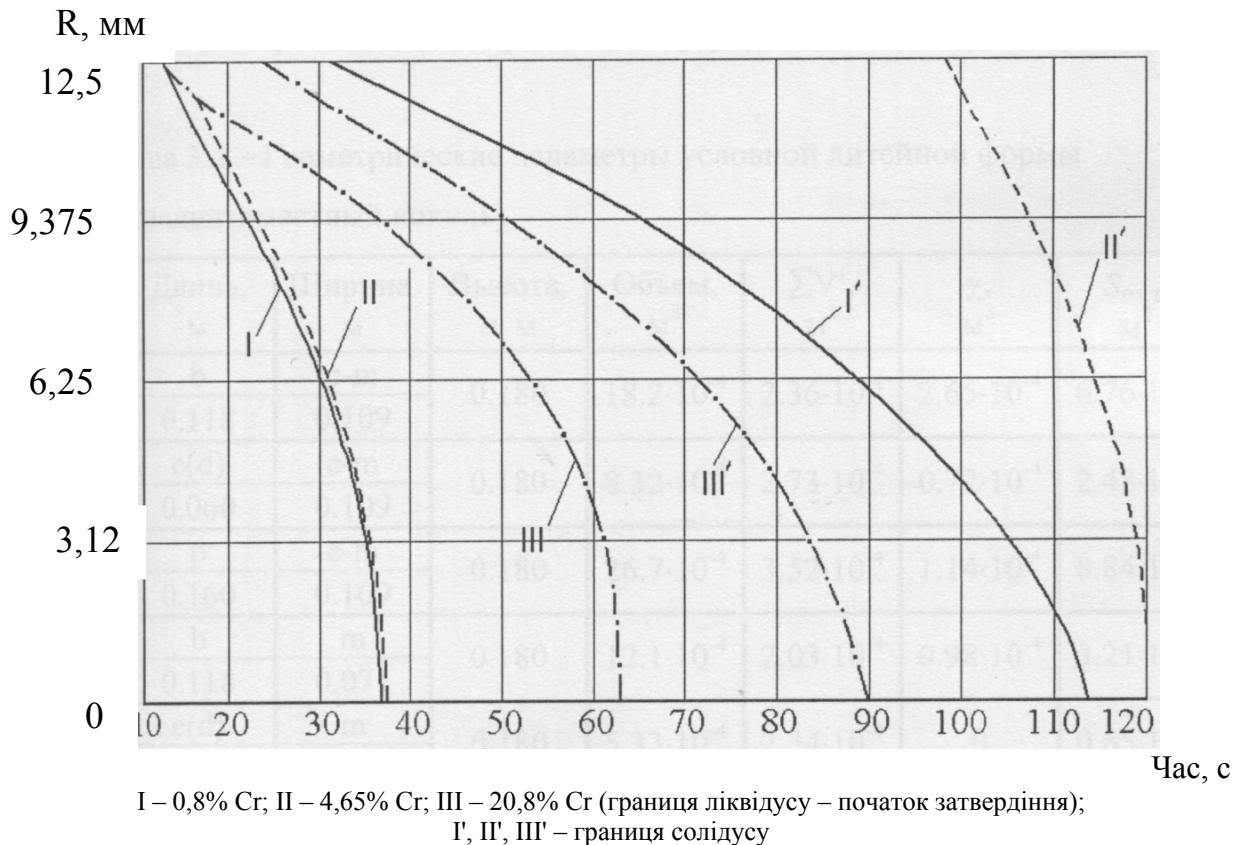


Рисунок 2 – Кінетика кристалізації виливка Ø25 мм

З метою прогнозування структури металу в цильпібсі діаметром 25 мм із легованого чавуну розраховували розподіл лінійної швидкості затвердіння по перерізу виливка при різних значеннях коефіцієнта теплопровідності кокільної вогнетривкої фарби.

Отримані дані вказують на неоднорідність розподілу лінійної швидкості затвердіння по перерізу цильпібса. На початку процесу фронт солідусу на поверхні циліндру має відносно високу швидкість, яка стрімко зменшується при збільшенні товщини кірки. Далі, з плином часу, товщина двохфазної зони поступово зменшується і термічний опір затвердівшого шару вже не має значного впливу на відведення теплоти. Більш важливим фактором при зменшенні розмірів рідкого ядра в центрі виливка є збільшення питомої поверхні тепловідведення в тверду кірку.

В результаті проведених розрахунків виявили, що найбільш ефективний режим охолодження чавунного цильпібса діаметром 25 мм має досягатись при використанні кокільних фарб із коефіцієнтом теплопровідності ( $\lambda_{\text{покр}}$ ) 0,24 – 0,38 Вт/(м<sup>0</sup>С). В цьому випадку швидкість затвердіння забезпечує товщину вибіленого шару ~8...10 мм, тобто 0,8 радіусу виливка. Згідно з структурними діаграмами Г.Ф.Баландіна – А.І.Вейніка [1, 2] прогнозована твердість вибіленої поверхневої частини у виливках із низьколегованого чавуну знаходиться на рівні від 400 до 520 НВ (~42-50 HRC), а перліто-графітної серцевини – від 210 до 286 НВ в межах міцності 250 – 320 МПа.

Мікроструктуру таких чавунів вивчали на шліфах, виготовлених із тіла молоткових циліндрів. Дослідження структури цильпібсів проводили на мікротвердомірі РМ-6 OLYMPUS Shimadzu. Тип хромистих карбідів і металевої матриці визначали тепловим травленням і рентгеноспектральним аналізом.

Встановлено, що мікроструктура низькохромистого чавуну (~1% Cr) перліто-ледебуритна. Карбідна фаза представлена легованим цементитом  $(Fe, Cr)_3C$  (рис. 3).

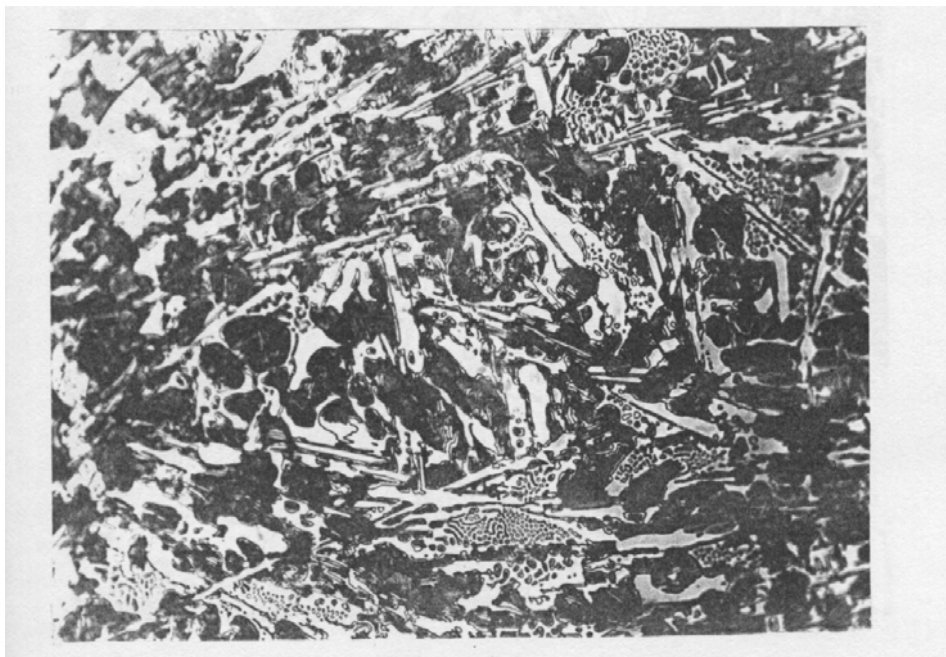


Рисунок 3 – Мікроструктура білого чавуну (0,8% Cr)  $\times 500$

Всі дослідні зразки з вмістом ~5% Cr в металі мають структуру білого чавуну, що складається із ледебуриту і пластинчастого перліту (рис. 4). Середня мікротвердість евтектики становить 763 Н $\mu$ , перліту – 450-763 Н $\mu$ , карбідів – 1135 Н $\mu$ .



Рисунок 4 – Мікроструктура легованого чавуну (4,65% Cr)  $\times 500$

Мікроструктура високохромистого чавуну (рис. 5) складається із аустеніто-карбідної евтектики зі спеціальними карбідами хрому  $(Cr, Fe)_7C_3$ , окремих ділянок троосто-мартенсита з мікротвердістю 644-750 Н $\mu$  і мілких вторинних карбідів. Середня мікротвердість евтектики становить 790 Н $\mu$ , карбідів  $(Cr, Fe)_7C_3$  – 1620-1854 Н $\mu$ .

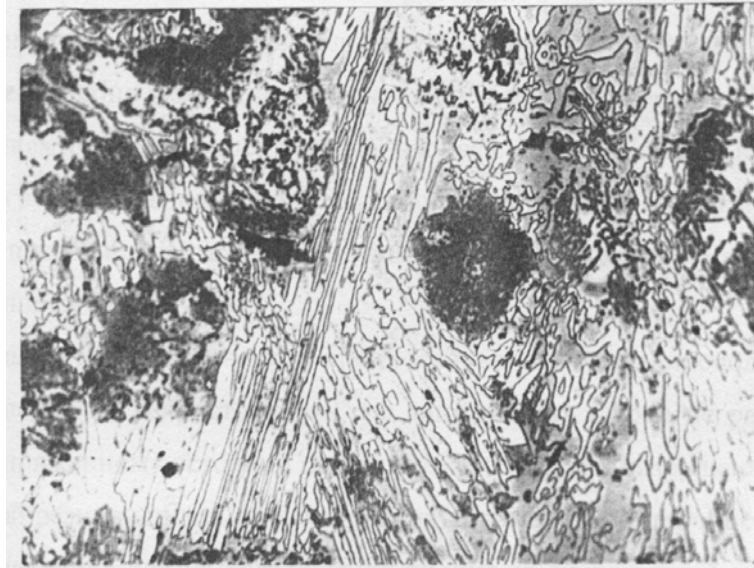


Рисунок 5 – Мікроструктура високохромистого чавуну (20,8% Cr)  $\times 500$

Експлуатаційні властивості литих чавунних цильпесів (ударно-абразивну зносостійкість і ударостійкість) було перевірено на зразках, вирізаних із цильпесів в радіальному напрямку. Випробування здійснювали в лабораторному млину. Підтверджено багаточисельні літературні дані стосовно підвищення ударно-абразивної зносостійкості при збільшенні вмісту хрому в чавуні. При введенні хрому у розплав більше 7% в мікроструктурі поряд з карбідами цементитного типу з'являються карбіди типу  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

**Висновки.** Порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей і вартості їх досягнення показав, що в умовах сьогодення компромісним є виготовлення молоткових тіл з низьколегованого хромом чавуну (0,8-1%). Дані, отримані розрахунковим способом, добре узгоджуються із результатами виробничих випробувань литих молоткових тіл, що дозволило оптимізувати технологію виготовлення таких виробів.

## Список літератури

1. Основы теории формирования отливки / [Баландин Г.Ф.] ; – М: Машиностроение, 1976. – 328 с.
2. Теория затвердевания отливки / [Вейник А.И.] ; – М: Машиностроение, 1960. – 435 с.
3. Физическая химия / [Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А.] ; под ред. С.И. Попеля. – М.: Металлургия, 1987. – 688 с.
4. Дубоделов В.И. Численное исследование кинетики затвердевания мелющих тел в металлических формах с естественным воздушным охлаждением / В.И. Дубоделов, В.К. Погорский, В.Н. Кропивный, В.Н. Ломакин // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – 1999. – №4. – С.5-10.

**Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasil Klimenko, Prof., DSc., Viktor Pukalov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Lomakin Andriy**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**Investigation of the kinetics crystallization effect on the properties of the castings of the cast-iron grinding bodies**

The aim of this work is studying how speed of hardening and chromium's modified additives affect to structure of cast iron's cylinder in metallic form for rising of the shock and abrasive durability.

Here is examined use of mathematical modeling to identify the start time and end time of hardening alloying metal, depending on the chemical composition of the alloy, and to predict the ratio between amount of ledeburite, which determines the durability of the cylinder, and number of austenite-graphite eutectic.

Comparative analysis of performance properties and value of its achievements showed that today the best compromise is to manufacture grinding bodies from cast iron. The cast iron has to be low alloyed by the chromium (0.8-1%).

**cylinder for crushing, alloyed cast iron, chromium, metallic form, solidification, structure, modeling**

Одержано 29.01.16

УДК 621.865.8

**І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: poprugapavel@gmail.com*

## Алгоритм та програмний модуль побудови кінематичних схем промислових роботів

В статті представлено розроблений алгоритм для побудови кінематичних схем промислового робота за допомогою створеного програмного модуля. Особливістю модуля є формування кінематичної схеми в автоматичному режимі з можливістю задання розмірів для кожної кінематичної пари схеми та переміщення цих пар по заданим параметрам руху, що дає змогу більш якісно вирішувати питання обґрунтованої розробки конструкції промислового робота.

**промисловий робот, кінематична пара, кінематична схема, алгоритм побудови кінематичних схем промислових роботів, програмний модуль побудови кінематичних схем промислових роботів, процедура**

**И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, П.В. Попруга, асп.**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Алгоритм и программный модуль построения кинематических схем промышленных роботов**

В статье представлен разработанный алгоритм для построения кинематических схем промышленного робота с помощью созданного программного модуля. Особенностью модуля является формирование кинематической схемы в автоматическом режиме с возможностью задания размеров для каждой кинематической пары схемы, а также одной из особенностей является перемещение каждой ланки кинематической пары по заданным параметрам движения, что позволяет более качественно решать вопросы обоснованной разработки конструкции промышленного робота.

**промышленный робот, кинематическая пара, кинематическая схема, алгоритм построения кинематических схем промышленного робота, программный модуль построения кинематических схем промышленного робота**

**Постановка проблеми.** Промислові роботи мають високу кінематичну рухомість виконуючих органів, що дозволяє їм здійснювати складні просторові переміщення та орієнтування деталей, які підлягають транспортуванню. Створення якісних конструкцій промислових роботів є важливою проблемою, від її вирішення суттєво залежить ефективність впровадження їх у виробництво.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1] проводились початкові структурні, кількісні та кінематичні аналізи роботів з двома та трьома ступенями рухомості. В якості продовження аналізу було проведено автоматизований структурний та кількісний аналізи роботів з різними ступенями рухомості [2]. Результатами цих аналізів є структурні формули доцільних варіантів кінематичних схем промислових роботів. В якості продовження пропонується впровадити автоматизовану побудову кінематичних схем та загального виду промислового робота.

© І.І. Павленко, П.В. Попруга, 2016

**Постановка завдання.** Попередню уяву про рухи, які виконуються роботами, можна одержати з кінематичних схем (КС) [1]. Велика кількість ступенів рухомості робота, різноманітність кінематичних пар (КП) та напрямків рухів між ними призводить до величезної кількості можливих варіантів КС, що ускладнює вибір необхідного доцільного варіанту схеми, а тим самим і самого промислового робота. Для вирішення поставленої задачі було розроблено алгоритм аналізу КС з різною кількістю ступенів рухомості [2] та програмний модуль для комп'ютерного аналізу.

**Виклад основного матеріалу.** Для вдосконалення аналізу та більш якісного відображення його результатів, створено програмний модуль побудови КС. Розроблений модуль в автоматичному режимі будує схеми по структурним формулам, отриманих в результаті структурного та кількісного аналізу, або введені в ручному режимі через відповідне спеціальне вікно, конкретної структурної формули робота. Умовно сам програмний модуль та його роботу можна розділити на такі частини:

- визначення варіантів КП, які використовуються для побудови КС;
- визначення умов конструктивного виконання КП для побудови схем;
- введення параметрів КП – розміри ланок та величини їх переміщення з вибором варіантів графічного відображення.

Використовуючи вищенаведені дані, програмний модуль будує КС, яка відповідає структурній формулі та надає попередню уяву про створюваний промисловий робот.

Перша частина програмного модуля дає оцінку використовуваних КП. В схемах роботів використовуються обертові та поступальні пари 5-го класу. Поступальні КП поділяються, за характером конструктивного виконання, на співвісні (П) та «вигнуті» (П'), частіше за все перпендикулярно виконані. Обертові КП бувають з співпадаючою віссю обертання (О), та не співпадаючою віссю (О'), частіше за все перпендикулярною. Кінематичні пари мають дві точки їх приєднання в схемі: початкова точка (1), якою КП приєднується до попередньої пари; кінцева точка (2) приєднання наступної КП.

Кожна з КП має по два варіанти виконання. Ці варіанти відрізняються один від одного положенням початкової точки (1) в КП. Положення початкової точки не впливає на рухові можливості КП, але змінює її положення відносно попередньої пари. На рис. 1 представлені КП та варіанти їх виконання.

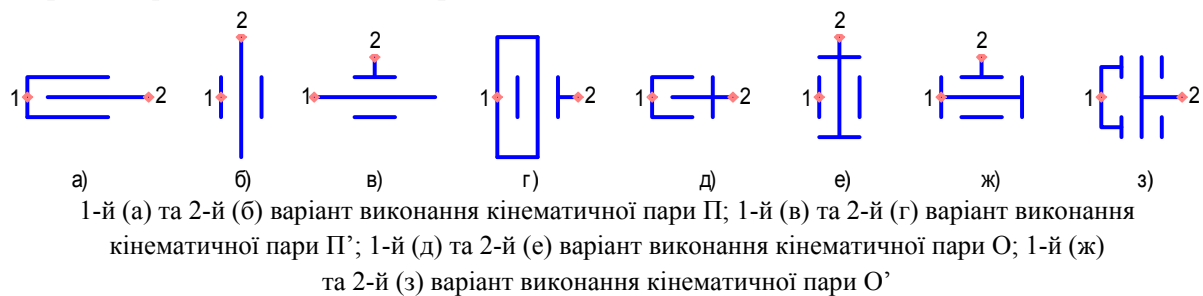


Рисунок 1 – Кінематичні пари та варіанти їх виконання

Друга частина програмного модуля відповідає за вибір варіанту конструктивного виконання КП. Вибір залежить від типу поточної КП, напрямку її руху відносно попередньої КП та типу попередньої пари. Проаналізувавши варіанти компоновок виявили такі залежності в виборі КП: так якщо поточна КП співвісна до попередньої пари П або О, то необхідно вибрати перший варіант її виконання, т. я. використання другого варіанту призведе до перпендикулярного напрямку руху поточної пари відносно попередньої. Теж саме можна віднести до випадку, коли поточна КП перпендикулярна до попередньої пари П' або О'. Якщо ж поточна КП паралельна або перехрещується до попередньої пари П' або О' то необхідно

вибрати другий варіант виконання, перший варіант буде співвісним або ж перпендикулярним. Аналогічно буде з варіантами компоновок, поточна КП перпендикулярна до попередньої пари П або О. Тож продивившись всі залежності розділимо їх на дві групи: перша група, коли необхідно вибрати перший варіант виконання КП, друга група – другий варіант виконання.

I група:

- поточна КП співвісна до попередньої пари П або О;
- поточна КП перпендикулярна до попередньої пари П' або О'.

II група:

- поточна КП паралельна до попередньої пари П' або О';
- поточна КП перпендикулярна до попередньої пари П або О;
- поточна КП перехресна до попередньої пари П' або О'.

Третьою частиною програми є задання параметрів кожної КП схеми. В якості параметрів для лінійних КП приймаються довжина переміщення ( $L$ , мм), що визначає довжину ланки та для лінійних вигнутих – довжина перпендикулярної ланки ( $R$ , мм). Також є можливість задання швидкості переміщення ланки (м/с) Для обертових КП приймаються кут повороту ланки ( $\alpha$ , град) та для обертових не співвісних – довжина перпендикулярної ланки ( $R$ , мм) Як і для лінійних, є можливість задання швидкості повороту ланки (град/с). По замовчуванню всі КП мають однакові розміри. Для зміни розміру необхідно задати нові, за допомогою вікна програмного модулю «Задати формулу».

Об'єднуючи перераховані три частини програмного модуля є можливість побудувати схему та загальний вид робота за заданою структурною формулою.

Таблиця 1 – Варіанти зображення КП в програмному модулі та умови їх вибору

Вид КП	Виконання та варіант зображення КП				Вид КП	Виконання та варіант зображення КП			
	Схемний варіант		Конструктивний варіант			Схемний варіант		Конструктивний варіант	
П					О				
П'					О'				

Для роботи програмного модуля створено спеціальний алгоритм (рис. 2), згідного якого програма спочатку зчитує структурну формулу потім будується перша КП схеми. Далі система координат зміщується в кінцеву точку КП. Після цього промальовується наступна КП і знову зміщується нуль системи координат і так промальовується кожна слідуєча КП. В кінці КС зображується захват. Після побудови всієї кінематичної схеми система координат повертається в початкове положення – початкова точка першої кінематичної пари повертається відносно систем координат так, щоб схема відповідала типу промислового робота (напольний, портальний чи ін.).

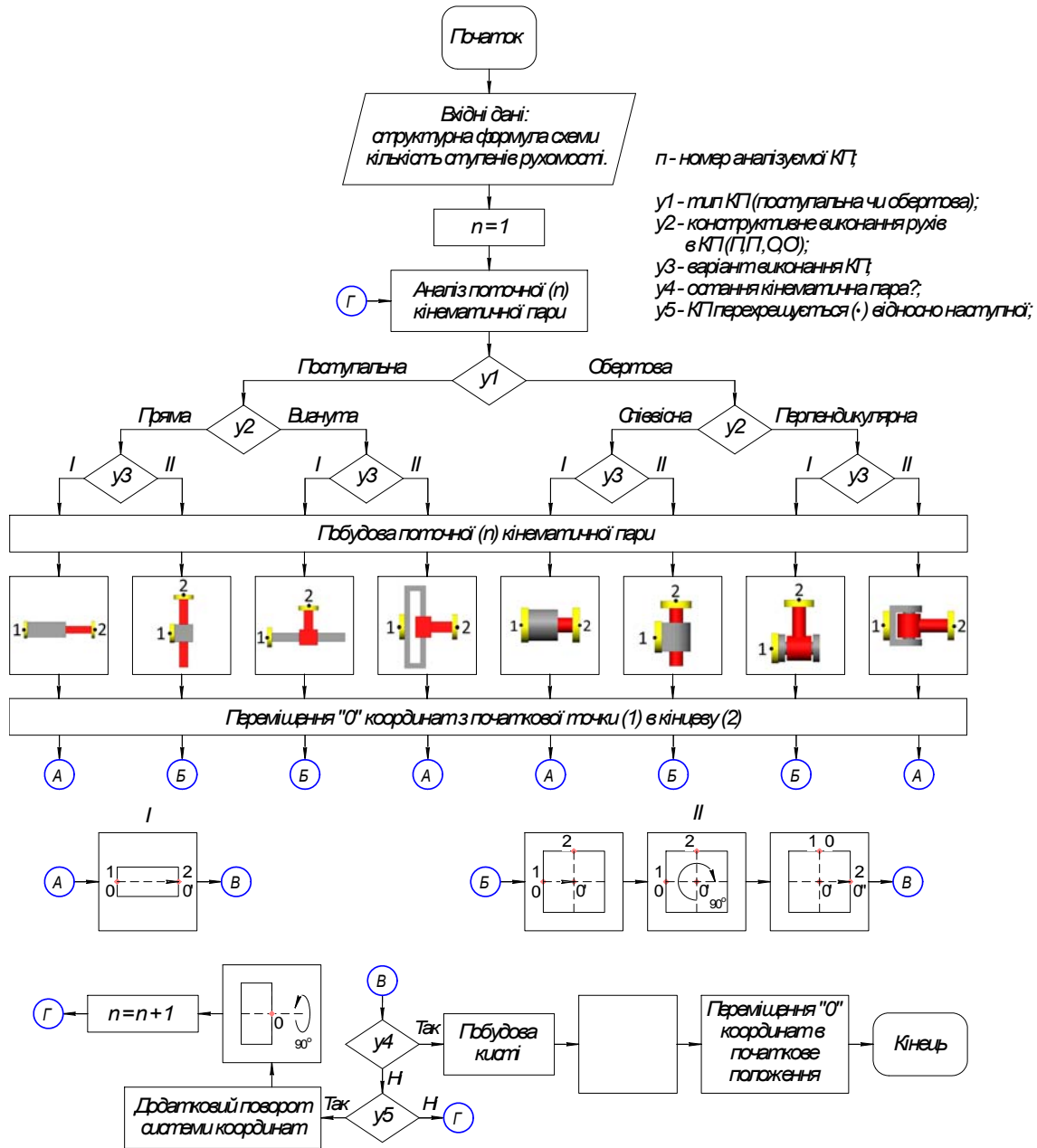
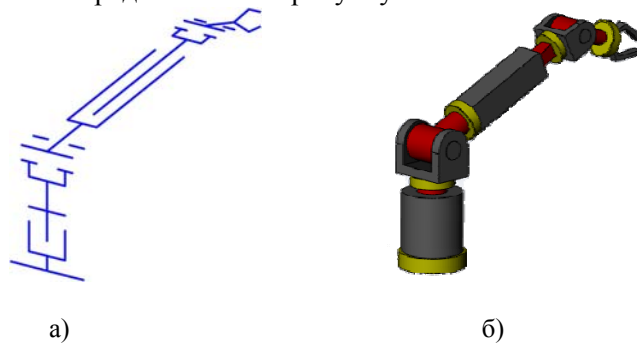


Рисунок 2 – Алгоритм побудови кінематичної схеми

Приклад підсумкової побудови КС та загального виду робота за структурною формулою  $O \perp O' \perp П \perp O'$  представлено на рисунку 4.



а) схемний варіант зображення; б) конструктивний варіант зображення  
Рисунок 4 – Приклад кінематичної схеми та зовнішнього виду робота побудованих за допомогою програмного модуля

**Висновки.** Розроблений алгоритм та програмний модуль дає змогу в автоматичному режимі будувати кінематичні схеми та загальний вид роботів, згідно вибраних варіантів структурних формул. Це дає можливість швидко з мінімальними витратами аналізувати велику кількість можливих варіантів виконання роботів та сприяти вибору із них найбільш доцільних. В якості продовження досліджень пропонується поглиблення обґрунтувань по вибору найбільш доцільних виконання роботів згідно конкретних умов їх виконання.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування: навч. пос. / І.І Павленко. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Павленко І.І. Комп'ютеризований аналіз кінематичних схем промислових роботів / І.І. Павленко, Т.Г. Сябірзянов, П.В. Попруга // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 42, ч.1. – 215 с.
3. Павленко І.І. Програмний аналіз варіантів кінематичних схем промислових роботів та їх робочих зон / І.І. Павленко, П.В. Попруга, М.І. Черновол // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – Вип 27. – 34 с.

**Ivan Pavlenko, Prof., DSc., Pavel Popruga, post-graduate**

*Kirovograd national technical university. Kirovohrad, Ukraine*

### **Algorithm and program module of creation of kinematic schemes of industrial robots**

Industrial robots have high kinematic mobility of executive bodies that allows them to carry out difficult spatial movements and orientations of the details, which are subject to transportation. Preliminary representation about the movements, which are carried out by robots, can be received from kinematic schemes. A big variety of kinematic schemes complicates a choice of necessary expedient version of the scheme, and thereby and the most industrial robot.

The developed algorithm for creation of kinematic schemes of the industrial robot by means of the created program module is presented in article. Feature of the module is formation of the kinematic scheme in the automatic mode, poses received from the analysis of structural formulas, or entered manually with possibility of a task of the sizes for each kinematic couple of the scheme and movement of these couples in the set movement parameters that work allows to resolve with higher quality issues of reasonable development of a design industrial.

The developed program module allows constructing the kinematic scheme, which corresponds to a structural formula in the automatic mode. In addition, opportunity of creation of the kinematic scheme on given sizes is given preliminary by representation about the created industrial robot. One more of features of the program module is not only creation of the kinematic scheme, but also possibility of representation of movement of each kinematic couple according to the set movement parameters.

**industrial robot, kinematic couple, kinematic scheme, algorithm of creation of kinematic schemes of the industrial robot, program module of creation of kinematic schemes of the industrial robot**

Одержано 26.02.16

УДК 622.7

**П.В. Сергєєв, проф., д-р техн. наук, В.С. Білецький, проф., д-р техн. наук**  
*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м.Полтава, Україна, E-mail:BILETSK@i.ua*

## Вплив складу та властивостей реагентів на ефективність селективної масляної флокуляції тонкодисперсного вугілля

Виконано теоретичний аналіз адгезії масляних реагентів на вугільній поверхні. Виділені основні фактори, що забезпечують селективність і міцність закріплення реагентів на вугіллі та флокуляцію вугільних зерен. Методом симплекс-планування встановлено, що флокулююча здатність розглянутих нафтопродуктів у міру збільшення ступеня хімічної зрілості вугілля зростає в ряді "гас - дизпаливо - реагент ААР".

**вугілля, селективна масляна флокуляція, реагенти, адгезія, симплекс-планування**

**П.В. Сергеев, проф., д-р техн. наук В.С. Белецкий, проф., д-р техн. наук**  
*Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г.Полтава, Украина*  
**Влияние состава и свойств реагентов на эффективность селективной масляной флокуляции тонкодисперсных углей**

Выполнен теоретический анализ адгезии масляных реагентов на угольной поверхности. Выделены основные факторы, обеспечивающие селективность и прочность закрепления реагентов на угле и флокуляцию угольных зерен. Методом симплекс-планирования установлено, что флокулирующая способность рассмотренных нефтепродуктов по мере увеличения степени химической зрелости угля растет в ряду "керосин - дизтопливо - реагент ААР".

**уголь, селективная масляная флокуляция, реагенты, адгезия, симплекс-планирования**

**Постановка проблеми.** Селективна масляна агрегація вугілля поєднує сукупність процесів структурування тонкої полідисперсної вугільної фази у водному середовищі за допомогою масляних реагентів. В основі процесів селективної масляної агрегації вугілля лежить механізм адгезійної взаємодії олеофільної вугільної поверхні з маслами, в результаті якого досягається її селективне змочування і агрегування в турбулентному потоці води. Гідрофільні часточки, не змочувані маслом в склад агрегатів не входять, що дозволяє виділяти їх у вигляді породної суспензії.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В залежності від режимних параметрів, технологічної схеми, досягаемого результату, зокрема, виду продукту агрегації виділяють масляну грануляцію (МГ), агломерацію (МА) та *флокуляцію* (МФ). При грануляції та агломерації в процес втягуються зерна вугілля до 3-5 мм, а при флокуляції – не більше 0,1-0,2 мм. Гранулят являє собою моно- або полідисперсний сипучий продукт, складений з шаровидних і овальних гранул крупністю від 0,5-0,7 мм до 7-10 мм. Агломерат – це частково згранульоване полідисперсне вугілля представлене вуглемасляними комплексами крупністю від 0,2-0,3 мм до  $1,1 - 1,3 / d_{\max}$  ( $d_{\max}$  - максимальний діаметр вугільного зерна). Флокули – пухкі або ущільнені вуглезв'язуючі комплекси крупністю не більше 0,2-0,3 мм. Питомі витрати масла-зв'язуючого взяті на 1000 см<sup>2</sup>/г зовнішньої поверхні вугілля ( $S_{\text{пит.}}$ ) при грануляції складають 8...12 мас.% від сухої маси вугілля, при агломерації – 2...3 мас. %,

© П.В. Сергєєв, В.С. Білецький, 2016

флокуляції – 0,2...0,5 мас.%. Абсолютні значення витрат масла сильно залежать від параметра  $S_{\text{пит}}$  та в'язкості зв'язуючого і коливаються в таких межах: для грануляту – 8...10 - 40÷50 мас.%; агломерату – 2...7 мас.%; флокуляту – 0,5...2 мас.%. Отже, масляна флокуляція тонкого вугілля, яка, зокрема, може широко застосовуватися як процес підготовки вугілля до флотації, пройшла промислово апробацію (в т.ч. на Авдіївському КХЗ), має сьогодні реальні перспективи впровадження при збагаченні вугілля [1-3].

Одне з проблемних питань при застосуванні масляної флокуляції тонкого вугілля – вибір реагента. Існують три аспекти проблеми вибору масляних реагентів для селективної агрегації вугілля: *технологічний*, пов'язаний з власне їх агрегаційною здатністю, *екологічний* і *економічний*. Агрегаційна здатність зв'язуючих реагентів головним чином визначається:

- можливістю їх диспергації і утворення тонких плівок що обумовлюється в'язкістю речовини;
- поверхневою активністю;
- високою спорідненістю або мінімальною різницею в полярності з вугіллям (за відомим правилом Дебройна-Гувінка міцність адгезійного зв'язку „адгезив-субстрат“ тим вища чим менша різниця в полярності контактуючих фаз [4-5]);
- здатністю утримувати омаслені вугільні зерна в одному агрегаті за рахунок високої когезії, поверхневого натягу зв'язуючого.

Адгезійні і когезійні властивості реагентів визначаються їх складом і хімічними характеристиками. На процес агрегації особливо сильно впливають парафінові, нафтеніві і ароматичні вуглеводні, що складають масляну фракцію реагентів-зв'язуючих. Вони надають реагентам текучість і рухливість, але їх адгезійна активність слабка. Крім того, існує смолиста та асфальтенова фракції. Вони мають температуру плавлення відповідно ~100 °С і ~300°С, молекулярну вагу 1200 і 1800-2500, вміст вуглецю 75-85% і 80-85%, кисню 4-10% і ~3% і надають зв'язуючому високій еластичності, адгезійної активності, когезійної міцності. В смолах переважають конденсовані ароматичні структури, в асфальтенах – гібриди молекул смол. Кисеньвміщуючі функціональні групи зв'язуючих збільшують їх поверхневу активність до ліофільно-ліофобної вугільної поверхні [1].

**Постановка завдання.** Сьогодні підбір реагентів для селективної масляної агрегації вугілля, як і для наступної флотації, найчастіше здійснюється емпірично. Відсутній науковий метод формування оптимального складу реагентів, який би забезпечував необхідні властивості і відповідно найбільш ефективну їх дію. Тому мета цієї статті – вироблення системного підходу у вирішенні проблеми підбору реагентів-флокулянтів вугілля. Для цього пропонується застосування методу симплекс-решітчатого або симплекс-центроїдного планування систем “склад-властивість” і визначення таким чином оптимального складу реагентів-флокулянтів тонкодисперсного вугілля.

**Виклад основного матеріалу.** Природа і фізико-хімічні властивості флокулянтів є найважливішими технологічними параметрами процесів селективної флокуляції тонкодисперсного вугілля. Груповий хімічний склад більшості масляних реагентів являє собою суміш різноманітних вуглеводних речовин, співвідношення між якими може колитися в дуже широких межах. Тому визначення раціонального складу масляних флокулянтів є актуальним питанням розробки промислової технології селективної флокуляції маслами.

Подібні дослідження найбільш доцільно проводити методами симплекс-решітчатого або симплекс-центроїдного планування для систем “склад-властивість” [6].

У даній роботі був використаний симплекс-центроїдний план Шеффе, що забезпечує рівномірний розкид експериментальних точок у багатомірному просторі [6].

Суть досліджень полягала у визначенні впливу складу композиційного флокулянта на показник вилучення вугільних фракцій у концентрат,  $\varepsilon$ . Цей параметр виступав як цільова функція і визначався з виразу:

$$\varepsilon = \frac{A_o^d - A_u^d}{A_o^d - A_k^d} \cdot \frac{100 - A_k^d}{100 - A_u^d} \cdot 100, \%$$

де  $A_o^d$ ,  $A_k^d$  і  $A_u^d$  - зольності відходів, концентрату і вихідного вугілля відповідно.

Дослідження проводилися на шламах крупністю – 0,1 мм 4 марок донецького вугілля:

- марки Д (ш. Трудівська),  $A_u^d = 34,2 \%$ ;
- марки Г (ш. Куйбишевська),  $A_u^d = 35,7 \%$ ;
- марки Д (ш. ім. Леніна),  $A_u^d = 33,7 \%$ ;
- марки Т (ш. “Комсомолець Донбасу”),  $A_u^d = 35,1 \%$ .

Рівняння регресії розроблялися окремо для кожної марки вугілля. Як вихідні компоненти композиційного флокулянта застосовувалися реагенти-нафтопродукти, що найбільш широко використовуються у вуглезбагаченні: освітлювальний гас ( $X_1$ ), дизельне паливо ( $X_2$ ) і флотажний реагент ААР-2 ( $X_3$ ). У всіх експериментах, що реалізують матрицю трикомпонентного симплекс-центроїдного плану, витримувалась

умова  $\sum_{i=1}^3 X_i = 1$ , де  $X_i$  – дольова участь у флокулянті  $i$ -го компонента. Витрати флокулянта у всіх опитах складали 1% від маси вихідного шламу.

Дослідження проводилися на лабораторній установці, що включає високошвидкісний імпульсний змішувач з камерою обсягом 750 см<sup>3</sup> і лабораторну флотомашину ФЛ-1 з таким же обсягом камери. Вихідна водовугільна суспензія густиною 150 кг/м<sup>3</sup> оброблялася в змішувачі флокулянтном, склад якого відповідав необхідному згідно плану експерименту. Після турбулентного перемішування в плинні 60 с при частоті  $n = 2500 \text{ хв}^{-1}$  зфлокульований продукт піддавався наступному флотажному поділу за рахунок аероефекту в камері флотомашини без подачі додаткових реагентів. Продукти поділу висушувалися і піддавалися аналізу на зольність. За даними аналізів згідно рівняння 1 розраховувалися значення цільової функції – вилучення  $\varepsilon$ .

Розробка планів експериментів, оцінка значимості коефіцієнтів і адекватності регресійних моделей у цілому, а також аналіз отриманих рівнянь здійснювалися за допомогою модуля “Планування експерименту” програми Statgraphics Plus [7].

Попередня оцінка показала, що серед запропонованих у модулі регресійних моделей сумішей (лінійною, квадратичною, кубічною і спеціальною кубічною) найбільш високими статистичними характеристиками володіє модель другого порядку у виді наступного полінома:

$$\varepsilon_p = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i \neq j}^3 b_{ij} x_i x_j . \quad (1)$$

Тому всі наступні розрахунки й оцінки здійснювалися на основі цієї моделі.

У табл. 1 наведені матриці планування, експериментальні і розрахункові (відповідно до моделі) значення цільової функції, а також основні статистичні оцінки

рівнянь регресії. Як видно, усі регресійні моделі володіють надійними статистичними характеристиками. Про це свідчать високий рівень значимості ( $p < 0,05$ ) і великі (більш 90 %) значення коефіцієнта детермінації R-квадрат для усіх без винятку моделей. Це дозволяє вважати ці моделі адекватними досліджуваному процесові.

Таблиця 1 – Результати експериментів та оцінки моделей

Марка вугілля	Фактори (компоненти)			експ $\varepsilon, \%$	$\varepsilon, \%$ розр	Оцінки моделей	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$			Рівень значущості (p-рівень)	Коефіцієнт детермінації R-кв., %
Д	1	0	0	89	89,34	0,0239	92,31
	0	1	0	85	84,80		
	0	0	1	83	82,52		
	0,5	0,5	0	83	83,09		
	0,5	0	0,5	82	81,81		
	0	0,5	0,5	80	79,27		
	0,333	0,3333	0,3333	81	80,00		
	0,6667	0,1667	0,1667	84	83,36		
	0,1667	0,6667	0,1667	80	80,99		
	0,1667	0,1667	0,6667	78	78,81		
Г	1	0	0	74	74,06	0,0090	98,57
	0	1	0	90	90,24		
	0	0	1	87	87,14		
	0,5	0,5	0	78	78,04		
	0,5	0	0,5	79	78,95		
	0	0,5	0,5	82	82,13		
	0,3333	0,3333	0,3333	77	78,33		
	0,6667	0,1667	0,1667	76	75,54		
	0,1667	0,6667	0,1667	83	82,10		
	0,1667	0,1667	0,6667	82	81,37		
К	1	0	0	74	73,59	0,0015	95,76
	0	1	0	82	82,41		
	0	0	1	87	87,13		
	0,5	0,5	0	78	77,98		
	0,5	0	0,5	79	78,71		
	0	0,5	0,5	89	89,52		
	0,3333	0,3333	0,3333	82	82,42		
	0,6667	0,1667	0,1667	76	77,10		
	0,1667	0,6667	0,1667	85	83,65		
	0,1667	0,1667	0,6667	86	85,47		
Т	1	0	0	72	72,68	0,0071	90,75
	0	1	0	77	77,32		
	0	0	1	90	89,86		
	0,5	0,5	0	77	76,52		
	0,5	0	0,5	87	86,06		
	0	0,5	0,5	89	87,70		
	0,3333	0,3333	0,3333	82	84,58		
	0,6667	0,1667	0,1667	81	79,58		
	0,1667	0,6667	0,1667	82	81,67		
	0,1667	0,1667	0,6667	88	89,03		

Отримані остаточні рівняння регресії для різних марок вугілля мають такий вигляд:

$$Д: \varepsilon = 89,34X_1 + 84,80X_2 + 82,53X_3 - 15,94X_1 \cdot X_2 - 16,48X_1 \cdot X_3 - 17,58X_2 \cdot X_3,$$

$$Г: \varepsilon = 74,06X_1 + 90,24X_2 + 87,15X_3 - 16,44X_1 \cdot X_2 - 6,63X_1 \cdot X_3 - 26,26X_2 \cdot X_3,$$

$$К: \varepsilon = 73,59X_1 + 82,41X_2 + 87,14X_3 - 0,07X_1 \cdot X_2 - 6,62X_1 \cdot X_3 + 19,02X_2 \cdot X_3,$$

$$Т: \varepsilon = 72,68X_1 + 77,32X_2 + 89,86X_3 + 6,07X_1 \cdot X_2 + 19,16X_1 \cdot X_3 + 16,43X_2 \cdot X_3.$$

Для аналізу отриманих моделей були використані багаті графічні можливості програми Statgraphics. На рис. 1 представлені тернарні тривимірні графіки поверхонь відгуку, а на рис. 2 – контурні криві (карти ліній рівня) цих поверхонь. На основі представлених графіків виконаємо оцінку впливу складу композиційних реагентів на їх флокулюючу здатність.

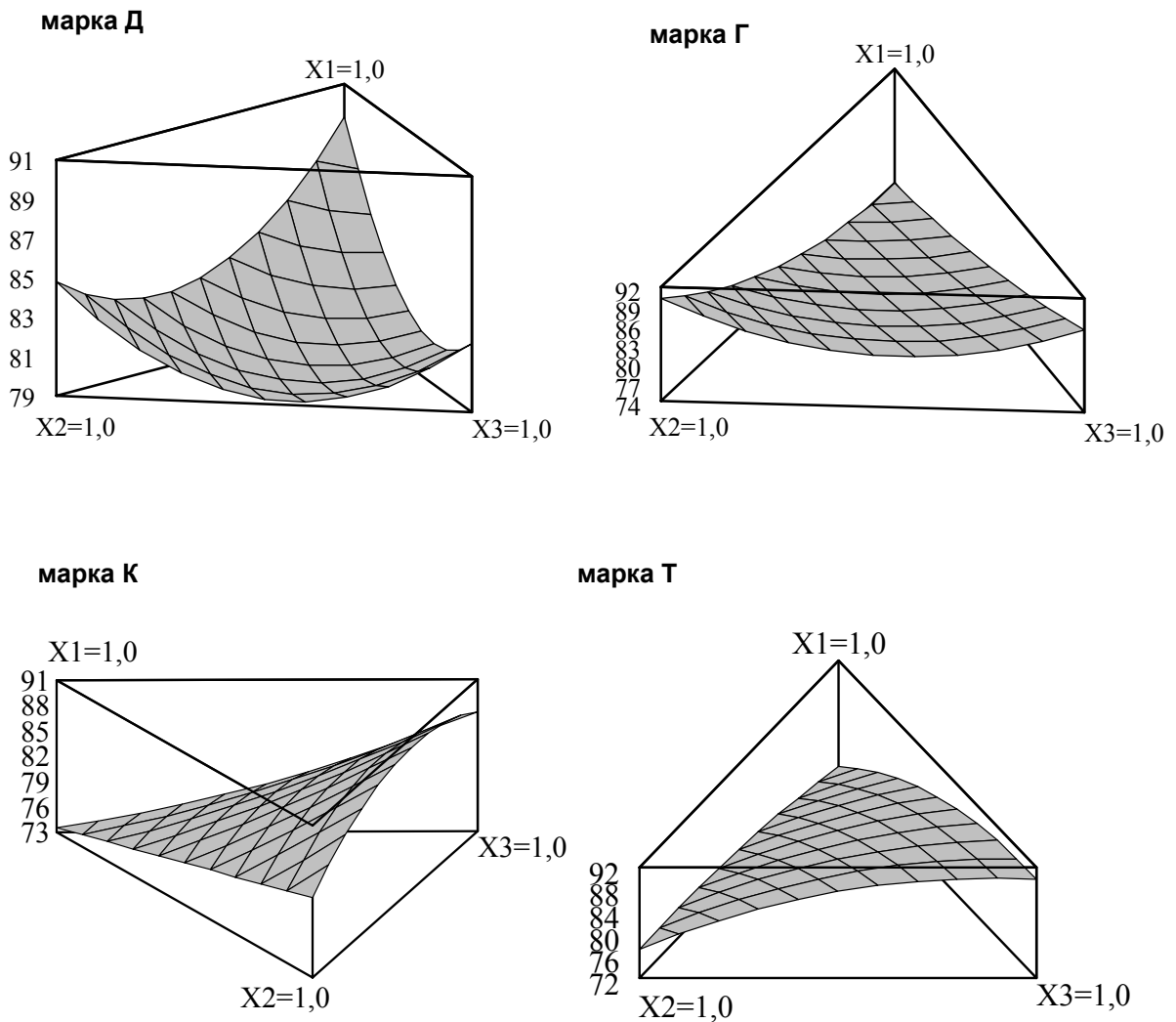


Рисунок 1 – Тернарні графіки поверхонь відгуку

У випадку флокуляції вугілля марки Д однокомпонентними (індивідуальними) реагентами їх флокулююча здатність знижується в ряді “гас – дизпаливо – реагент ААР”. Розрахунки по визначенню екстремума-максимуму рівняння регресії показують, що максимальне значення вилучення досягається при  $X_1 = 1,0$ , тобто при

використанні у якості флокулянта тільки гасу. Також можливе застосування двокомпонентного флокулянта на базі гасу з невеликою добавкою (не більш 10-12 %) дизельного палива. Трикомпонентні суміші у випадку флокуляції вугілля марки Д малоефективні.

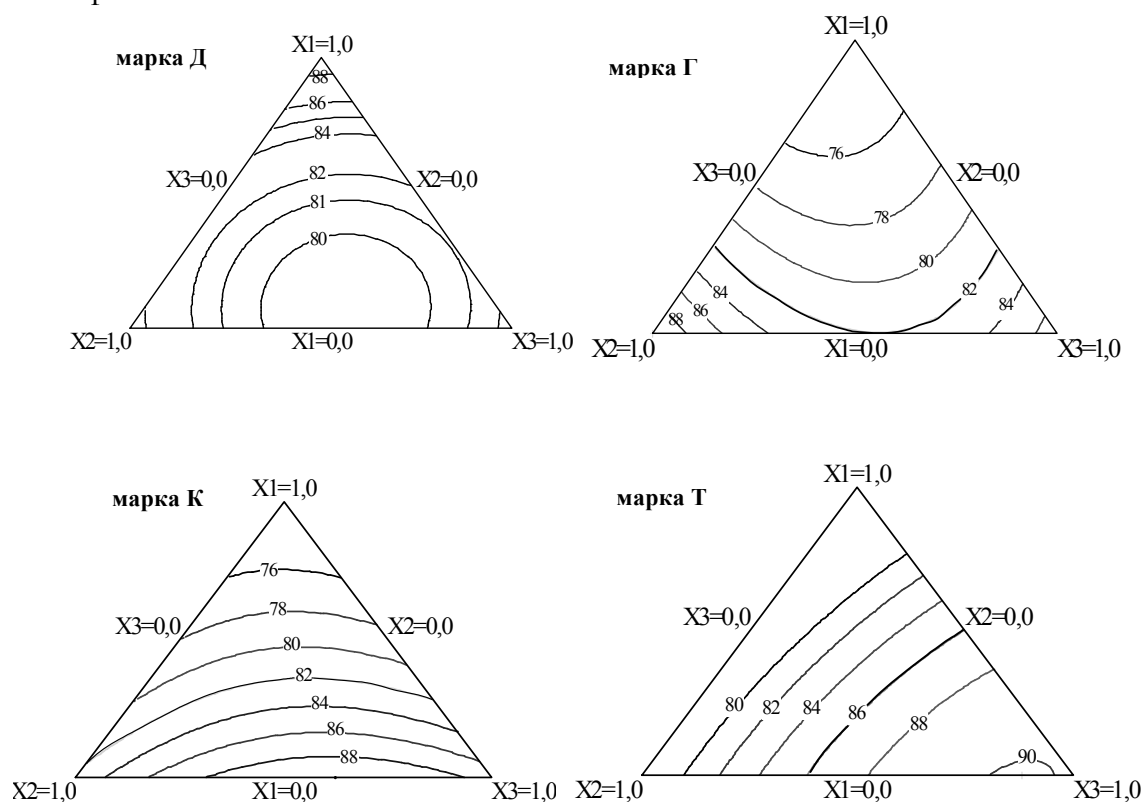


Рисунок 2 – Контурні криві поверхонь відгуку

При обробці вугілля марки Г флокулююча здатність індивідуальних реагентів убуває в ряду “дизпаливо – реагент ААР – гас”. Цільова функція досягає максимальних значень при  $X_2 = 1,0$ . Двохкомпонентні суміші ефективні тільки на основі дизпалива при участі реагенту ААР у межах 0 – 10 %. Як і в попередньому випадку, флокуляція вугілля марки Г трикомпонентними сумішами малоефективна.

При селективній флокуляції вугілля марок К и Т ситуація істотно змінюється. Найбільш ефективними стають двохкомпонентні суміші на основі дизпалива і реагенту ААР. У випадку вугілля марки К оптимальним є співвідношення:  $X_2 = 38 \%$ ;  $X_3 = 62 \%$ . Для вугілля марки Т маємо:  $X_2 = 12 \%$ ;  $X_3 = 88 \%$ . Трикомпонентні суміші можливі на базі дизпалива і реагенту ААР з невеликою добавкою (до 10%) гасу.

У цілому аналіз показує, що гас є найбільш ефективним флокулянтом у випадку переробки вугілля малого ступеня вуглефікації. В міру збільшення ступеня хімічної зрілості вугілля найбільш ефективним стає спочатку дизпаливо, а потім двокомпонентні суміші “дизпаливо - реагент ААР”, з поступовим ростом частки реагенту ААР при переході від вугілля середнього до вугілля високого ступеня зрілості.

Звідси випливає, що флокулююча здатність розглянутих нафтопродуктів у міру збільшення ступеня хімічної зрілості вугілля зростає в ряді “гас - дизпаливо - реагент ААР”. Аналіз групового хімічного складу і властивостей цих реагентів показує [8], що в тій же послідовності спостерігається закономірне збільшення густини, в'язкості,

молекулярної маси інгредієнтів і вмісту ароматичних сполук. Отже, підвищення кожного з цих показників веде до збільшення флокулюючої здатності реагентів.

Таким чином, флокулююча здатність реагентів-нафтопродуктів та їх композицій є функцією їх групового хімічного складу і властивостей. Вона зростає в міру збільшення густини, в'язкості, молекулярної маси індивідуальних сполук, а також вмісту ароматичних сполук.

Для вугілля низької стадії метаморфізму найбільш ефективними є індивідуальні флокулянти на основі гасу і дизпалива, а також їх композиції. У випадку вугілля середньої і високої стадії метаморфізму найбільш ефективні композиції дизпалива і флотореагента ААР.

Молекулярна (адсорбційна) адгезія обумовлена дією міжмолекулярних ван-дер-ваальсових сил різної природи – дисперсійних, орієнтаційних, індукційних, водневих та хімічних зв'язків. Згідно [4] робота адгезії є сумою таких складових:

$$W_a = W_a^d + W_a^p + W_a^i + W_a^h + W_a^\pi + W_a^{da}, \quad (2)$$

де індекси означають:

$d$  – дисперсійну взаємодію;

$p$  – орієнтаційну диполь-дипольну взаємодію;

$i$  – індукційну взаємодію;

$h$  – водневий зв'язок;

$\pi$  - пі-зв'язок;

$da$  – донорно-акцепторний зв'язок.

У відповідності до молекулярної теорії, найбільша міцність адгезії флокулянта до вугільної поверхні забезпечується при наявності в балансі міжмолекулярних сил в зоні контакту максимального числа складових рівняння (2). При цьому вирішальний вклад вносять високоенергетичні водневі та хімічні зв'язки. Вони не тільки збільшують міцність адгезійних комплексів, але й багато в чому визначають селективність дії флокулянтів на органічну фазу вугілля. Наявність у вугіллі і флокулянтах полярних функціональних груп, ненасичених С-С зв'язків в аліфатичних та ароматичних сполуках є передумовою виникнення вказаних високоенергетичних зв'язків (для розуміння вкладу різних взаємодій в адгезію порівняймо їх енергії: ван-дер-ваальсові зв'язки – 0,1-2,4 ккал/моль, Н-зв'язки – 5-6 ккал/моль, хімічні зв'язки – 50-100 ккал/моль, комплексні зв'язки ~3 ккал/моль). Зокрема, висока електронегативність атомів кисню в карбоксильних та гідроксильних групах сприяє виникненню Н-зв'язків з аналогічними структурами у другого учасника адгезійного контакту. Ненасичені С-С зв'язки сприяють виникненню в зоні контакту хімічних  $\pi$ -зв'язків; полярні групи та вільні радикали – виникненню ковалентних зв'язків за донорно-акцепторним механізмом.

### Висновки:

1. Найбільша міцність адгезії флокулянта до вугільної поверхні забезпечується при наявності в балансі міжмолекулярних сил в зоні контакту максимального числа складових адгезії – дисперсійної, орієнтаційної диполь-дипольної, індукційної взаємодій; водневого зв'язку;  $\pi$ - пі-зв'язку; донорно-акцепторного зв'язку.

При цьому вирішальний вклад вносять високоенергетичні водневі та хімічні зв'язки. Вони не тільки збільшують міцність адгезійних комплексів, але й багато в чому визначають селективність дії флокулянтів на органічну фазу вугілля. Наявність у вугіллі і флокулянтах полярних функціональних груп, ненасичених С-С зв'язків в аліфатичних та ароматичних сполуках є передумовою виникнення вказаних

високоенергетичних зв'язків.

2. У даній роботі використаний симплекс-центроїдний план Шеффе, що забезпечує рівномірний розкид експериментальних точок у багатомірному просторі. Виконаний аналіз показує, що гас є найбільш ефективним флокулянтном у випадку переробки вугілля малого ступеня вуглефікації. В міру збільшення ступеня хімічної зрілості вугілля найбільш ефективним стає спочатку дизпаливо, а потім двокомпонентні суміші "дизпаливо - реагент ААР", з поступовим ростом частки реагенту ААР при переході від вугілля середнього до вугілля високого ступеня зрілості.

Отже, флокулююча здатність розглянутих нафтопродуктів у міру збільшення ступеня хімічної зрілості вугілля зростає в ряді "гас - дизпаливо - реагент ААР".

## Список літератури

1. Білецький В. С. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля / В. С. Білецький, П. В. Сергєєв, Ю. Л. Папушин. – Донецьк : Грань, 1996. – 264 с.
2. Сергєєв П. В. Селективна флокуляція вугілля / П. В. Сергєєв, В. С. Білецький ; ДонДТУ, Донец. від-ня наук. т-ва ім. Т. Г. Шевченка. – Донецьк : Сх. вид. дім – 1999. – 136 с.
3. Сергєєв П. В. Полігонні і промислові випробовування технології селективної флокуляції вугільних шламів / П.В. Сергєєв, В.С. Білецький // Збагачення корисних копалин. – 2009. – Вип. 35 (76). – С.124–131.
4. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
5. К. Kendall. "Adhesion: Molecules and Mechanics". Science. – 1994. – 263 (5154): 1720–5.
6. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 296 с.
7. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. – Спб: Питер, 1997. - 240 с.
8. Основи хімії і фізики горючих копалин. / В. І. Саранчук, М. О. Ільшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький ; ДонНТУ[та ін.] – Донецьк : Сх. вид. дім, 2008. – 640 с.

**Pavlo Sergeev, Prof., DSc., Volodymyr Biletskyy, Prof., DSc.**

*Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, Poltava, Ukraine*

### **Effect of composition and properties reagents on the efficiency of selective oil-flocculation of fine coal**

The purpose of the article - to develop a systematic approach to solving the problem of selection of reactants coal-flocculants. For this proposed use of the method simplex centroid systems planning "structure-property" and thus define the optimal composition of the reagents-flocculants fine coal.

The theoretical analysis of the adhesion of oil reagents on coal surface. Main factors that provide the selectivity and reagents fixing strength carbon-carbon and the flocculation of the grains. It was found that the greatest strength of the adhesion of flocculant on coal surface is provided by the presence in the balance of intermolecular forces in the contact area the maximum number of components of the adhesion - the dispersion, the orientation of the dipole-dipole, induction of interaction; hydrogen bond;  $\pi$ -bonds; donor-acceptor bond. At the same time the decisive contribution made by high-energy and hydrogen chemical bonds. Simplex-centroid planning to determine the optimal composition of the flocculant-mineral oil was carried out using the software package Statgraphics.

It is established that that kerosene is the most effective flocculants in the case of processing a small degree of coalification coal. As the degree of maturity of the coal chemical most efficient diesel becomes first, and then two-component mixture "diesel - AAP reagent", with a gradual increase in the proportion of AAP reagent in the transition from coal medium to high degree of maturity of the coal. Flocculation ability of oil considered as increasing the degree of maturity of the coal chemical growing number of "kerosene - diesel - AAP reagent".

**coal, oil, selective flocculation, reagents, adhesion, simplex planning**

Одержано 14.01.16

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 621.391.83

**В.А. Бісюк, викл., В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук, О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: kntubisuk@ukr.net*

### Автоматизація процесу нанесення композиційних покриттів при неперервно-послідовному індукційному наплавленні

Розглянуто основні фактори які впливають на якість композиційних покриттів нанесених процесом неперервно-послідовного індукційного наплавлення.

**Запропоновано математичний опис процесу неперервно-послідовного індукційного наплавлення. неперервно-послідовне індукційне наплавлення, композиційне покриття, фактори впливу на якість композиційних покриттів**

**В.А. Бисюк, препод., В.М. Калич, проф., канд. техн. наук, А.К. Дидык, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

**Автоматизация процесса нанесения композиционных покрытий при неперервно-последовательному индукционному наплавлению**

Рассмотрены основные факторы влияющие на качество композиционных покрытий нанесенных процессом непрерывно - последовательной индукционной наплавки .

Предложено математическое описание процесса непрерывно- последовательной индукционной наплавки.

**непрерывно-последовательная индукционная наплавка, композиционное покрытие, факторы влияющие на качество композиционных покрытий**

**Постановка проблеми.** Високі темпи розвитку та впровадження процесів нанесення зміцнювальних композиційних покриттів (КП) у багатьох галузях виробництва визначаються тими широкими можливостями, які відкриваються з їх використанням при вирішенні задач, пов'язаних з підвищенням якості виробів та деталей сільськогосподарських машин; з подальшим ростом продуктивності праці; з економією матеріальних та енергетичних ресурсів. Найбільше впливає на ці темпи зростання вимог сучасного виробництва до експлуатаційних характеристик матеріалів та виробів, отримання яких без індукційного наплавлення (ІН) зміцнювальних КП не можливе, або економічно недоцільне.

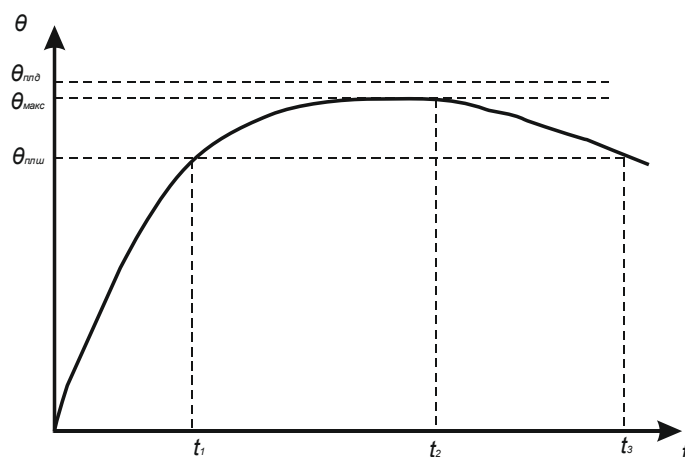
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес індукційного нагрівання металів і наплавлення КП широко використовується у виробничих умовах, найчастіше для зміцнення та відновлення відповідальних деталей СГТ [1,2], які піддаються в процесі роботи інтенсивному тертю. Існує ряд технологічних особливостей використання процесу ІН, які пов'язані з обмеженням енерговнеску в поверхню деталі. Проблема в тім, що для забезпечення одночасного індукційного нагрівання поверхні великих розмірів потрібне використання надпотужних генераторів і витрати електроенергії роблять використання ІН економічно недоцільним, крім того нерівномірний розподіл температурного поля приводить до термічних деформацій основи деталі і появи різного роду дефектів КП.

Щоб запобігти цим недолікам використовують процес неперервно-послідовного індукційного наплавлення. Як технологічний процес це досить складна система взаємозалежних параметрів, для якої аналітичний опис залежностей на даний час не визначений, до того ж нелінійний характер зміни магнітної проникності металів при нагріванні вище точки Кюрі ( $750-800\text{ C}^0$ ) обумовлюють складність автоматизації процесу. Але поява нових мікропроцесорних пристроїв, розробка і впровадження нового програмного та інформаційного забезпечення в системи керування дозволяють задовольнити нові вимоги до автоматизації таких процесів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є виявлення основних факторів, які впливають на якість КП при неперервно-послідовному індукційному наплавленні, математичний опис процесу індукційного наплавлення.

**Виклад основного матеріалу.** Отримання готових виробів високої якості знаходиться в прямій залежності від точності дотримання заданих параметрів технологічного процесу індукційного нагрівання. Одним з параметрів, який характеризує кількісну та якісну сторону процесу нагрівання деталей і нанесення КП, перед їх подальшою обробкою є температурне поле виробу. Розподіл температурного поля в поверхневих шарах деталей, ступінь їх нагрівання визначається з одного боку енергетичними та конструктивними параметрами нагрівального обладнання, а також алгоритмом керування електротермічною установкою і пристроєм для переміщення деталі в полі індуктора, з іншого – великою кількістю зовнішніх факторів, які відхиляють температурне поле від потрібних значень.

Для контролю за розподілом температурного поля пропонується використовувати не тільки керування напругою і частотою струму на індукторі, але й швидкістю переміщення деталі в зоні наплавлення [3]. При цьому досягається можливість поступово нарощувати потужність енерговнеску в зоні нагрівання навіть при сталому режимі роботи генератора; більш рівномірний розподіл температури на поверхні деталі; можливість додаткового нагрівання, якщо на виході з індуктора температура обробленої ділянки недостатня для якісного наплавлення (рис. 1).



$\theta_{плш}$  - температура плавлення шихти;  $\theta_{макс}$  - максимальна температура нагрівання;  $\theta_{плд}$  - температура плавлення деталі;  
 $t_1$  - час нагрівання поверхні деталі до мінімальної температури плавлення шихти;  
 $t_2 - t_1$  - час знаходження оброблюємої ділянки в полі індуктора при температурі вище  $\theta_{плш}$ ;  
 $t_3 - t_2$  - час охолодження оброблюємої ділянки до  $\theta_{плш}$  після виходу з поля індуктора

Рисунок 1 – Залежність температури поверхні деталі від тривалості наплавлення

Повна тривалість наплавлення таким чином складається з часу нагрівання вище за  $\theta_{плш}$  до  $\theta_{макс}$  та часу охолодження до температури нижче за  $\theta_{плш}$ , при цьому система

керування має обмежити нагрівання поверхні не вище за  $\theta_{\text{макс}}$ , щоб запобігти термічній деформації деталі.

В загальному випадку для процесу індукційного наплавлення в ряді робіт [4,5] пропонується знайти такий керуючий вплив, стиснутий обмеженнями енергетичного і технологічного характеру, який забезпечив би перехід із початкового стану в необхідний кінцевий стан із заданою точністю за мінімальний час, тобто надав би мінімуму функціоналу:

$$J = \int_0^{\tau} l dt, J \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $J$  – швидкість нагрівання;

$l$  – довжина поверхні виробу, що підлягає нагріванню;

$t$  – тривалість нагрівання.

Для визначення алгоритму роботи нагрівальної установки, що забезпечує мінімальне відхилення температурного поля металу від заданого в умовах енергетичних і технологічних обмежень необхідно досягнути мінімізації функціонала виду

$$J = \int_0^L [\theta(l, t) - Q_{\text{зад}}]^2 dl, \quad (2)$$

де  $\theta$  – температура деталі;

$Q_{\text{зад}}$  – задана потужність;

$L$  – довжина нагрівача (рамки індуктора).

Математична модель процесу нагрівання може бути представлена рівнянням:

$$b \frac{d\theta}{dt} + bv \frac{d\theta}{dx} + \theta = P(t), \quad (3)$$

де  $\theta(x, t)$  – температура тіла, що нагрівається;

$x$  – координата довжини нагрівача;

$b$  – стала величина;

$P(t)$  – потужність витрачена на нагрівання;

$v$  – швидкість переміщення деталі;

$t$  – тривалість процесу.

Тоді задача оптимального керування зводиться до мінімізації функціонала

$$J = \int_0^L [\theta^*(l, t) - Q_{\text{зад}}(L)]^2 dt. \quad (4)$$

Таким чином при розробці автоматичної системи керування слід враховувати технологічні можливості обладнання для індукційного наплавлення (потужність та частоту на виході генератора струму, розміри індуктора), можливість керування швидкістю та напрямком переміщення деталі, розміри оброблюємої ділянки поверхні деталі, температурні обмеження на нагрівання деталі та шихти.

**Висновки.** Автоматична система, яка забезпечить оптимальне керування такими параметрами процесу послідовно-неперервного індукційного наплавлення, як швидкістю переміщення деталі, напругою та частотою струму на індукторі дозволить розраховувати оптимальні тривалість і температуру нагрівання, поверхня деталі буде прогріватися рівномірно і відповідно без значних термічних деформацій, забезпечить достатньо високу якість покриття і зменшить енерговитрати.

## Список літератури

1. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачёв, Б.М. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М.: Машиностроение, 1970. – 182с.

2. Боль А.А. Повышение качества индукционной наплавки путем оптимизации и автоматизации нагрева / А.А. Боль, В.П. Тимошенко, В.Н. Коваль.– Изв. СО АН СССР. сер. Технические наук, 1989. – Вып. 1. – С. 85-90.
3. Бісюк В.А. Автоматичне керування неперервно-послідовним індукційним наплавленням / В.А. Бісюк, О.К. Дідик // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2015. – Вип. 28. – С. 250-255.
4. Данилушкин А.И. Оптимальное управление нелинейным процессом нагрева подвижного объекта / Данилушкин А.И., Руднев В.И. // Межвуз. сб. «Алгоритмизация и автоматизация технологических процессов и промышленных установок». – 1978. – Вип.10. – С. 65-73.
5. Гживачевский М. С. Математическое моделирование оптимального управления процессом индукционного нагрева: автореферат дис. ... доктора физико-математических наук : спец.: 05.13.16. / Гживачевский Марек Стефанович. – Москва, 1991. – 46 с.

**Viktor Bisuk, lecturer, Viktor Kalich, Prof., PhD tech. sci., Olexandr Didyk, Assos. Prof., PhD tech. sci.**  
*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Automating the process of applying composite coatings with continuously-sequential induction welding**

Getting a high quality finished products is directly dependent on the accuracy of observance of the specified process parameters of induction heating. One of the parameters characterizing the quantitative and qualitative side of the heating process details and application manual, prior to further processing is temperature field product. Average temperature field in the surface layers of details, the degree of heating is determined on the one hand the energy and the design parameters of the heating equipment and the algorithm control Electro installation and a device for moving parts in the field inductor, the other - a large number of external factors that deflection temperature field of the right values.

Automatic system, which provides optimal control parameters such process consistently continuous induction welding as speed moving parts, voltage and frequency current to the inductor will calculate the optimal duration and temperature of the heating surface details will warm uniformly and therefore without significant thermal deformation, will provide sufficiently high coating quality and reduce energy consumption.

**continuously-sequential induction welding, composite coating, the factors affecting the quality of composite coatings**

Одержано 14.01.16

#### **УДК 531.383**

**Н.І. Бурау, проф., д-р техн. наук, А.І. Вознюк, асп.**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
 м. Київ, Україна, E-mail: ai\_voznyuk@ukr.net*

**В.В. Цісарж, канд.техн. наук, ст. наук. співроб.**

*Державне підприємство НДІ РС «Квант-Радіолокація», м. Київ, Україна*

## **Система стабілізації та наведення для наземних рухомих об'єктів на базі AHRS**

В статті розглядається можливість створення системи стабілізації для наземного рухомого об'єкту на прикладі двохосної системи непрямої стабілізації з використанням приладу типу AHRS в якості гіроскопічного вимірювача. Також в роботі продемонстровано алгоритм перетворення координат, що базується на теорії кінцевих поворотів твердого тіла і використанні кватерніонів з параметрами Родрига-Гамільтона.

Показані основні переваги використання приладів, виготовлених за MEMS-технологіями, а також перспективи їх подальшого використання в системах стабілізації та наведення.

**система стабілізації, системи визначення курсового положення, кватерніони**

© Н.І. Бурау, А.І. Вознюк, В.В. Цісарж, 2016

**Н.И. Бурау, проф., д-р техн.наук, А.И. Вознюк, асп.**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

**В.В. Цисарж, канд. техн. наук, ст. науч. сотруд.**

*Государственное предприятие НИИ РС «Квант-Радиолокация», г. Киев, Украина*

### **Система стабилизации и наведения для наземных подвижных объектов на базе AHRS**

В статье рассматривается возможность создания системы стабилизации для наземного подвижного объекта на примере двухосные системы косвенной стабилизации с использованием прибора типа AHRS в качестве гироскопического измерителя. Также в работе продемонстрировано алгоритм преобразования координат, основанный на теории конечных поворотов твердого тела и использовании кватернионов с параметрами Родрига-Гамильтона.

Показаны основные преимущества использования приборов, изготовленных по MEMS-технологиями, а также перспективы их дальнейшего использования в системах стабилизации и наведения.

**система стабилизации, системы определения курсового положения, кватернионы**

**Постановка проблеми.** Актуальним завданням, що стоїть перед промисловим комплексом України, є створення систем стабілізації та наведення обладнання, що розміщується на рухомих об'єктах, як цивільного так і військового призначення. Серед величезної кількості такого обладнання активно використовуються і розвиваються антенні пости, оптико-електронні модулі, навігаційні системи, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) тощо. Не менш важливим напрямком є розробка стабілізаторів озброєння на наземному та морському транспорті (гармати, зенітно-ракетні комплекси) [1-4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Комплексний підхід до вирішення задачі проектування та створення систем стабілізації та наведення включає в себе поступовий відхід від аналогової елементної бази і дедалі більше використання сучасних цифрових пристроїв, застосування сучасних методів та підходів при розробці алгоритмів [1,4]. Так як до складу будь-якої системи стабілізації входять гіроскопічні вимірювачі, які забезпечують систему інформацією про положення об'єкту, лінійні та кутові переміщення, швидкості та прискорення, важливою задачею при створенні системи є вибір такого вимірювача [5]. Завдяки інтенсивному розвитку мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки на сьогоднішній день існує широкий вибір гіроскопічних вимірювачів, які використовуються для побудови систем стабілізації та наведення. Одним з найперспективніших напрямів є використання вимірювальних пристроїв, побудованих за технологіями мікроелектромеханічних систем. Зокрема, доцільним є застосування приладів типу AHRS (англ. Attitude and Heading Reference Systems – системи визначення курсового положення), до складу яких входять три акселерометри, три магнетометри та три датчика кутової швидкості, що забезпечує видачу приладом повної інформації про положення об'єкта [2,6,10].

**Постановка завдання.** Мета даної статті – обґрунтувати можливість створення системи стабілізації на базі AHRS з алгоритмом перетворення координат, що базується на використанні кватерніонів.

**Виклад основного матеріалу.** AHRS призначений для визначення повороту об'єкта в будь-який момент часу щодо його деякого початкового положення. На рис. 1 наведено функціональну схему двохосної системи непрямої стабілізації на основі вимірювального блоку AHRS. Знаючи сформований акселерометром вектор прискорення вільного падіння  $V_A$ , і сформований магнетометром вектор магнітної індукції  $V_M$ , можна легко визначити положення об'єкта в просторі. Проте об'єкт під час руху у своїй системі координат за складною траєкторією одночасно відчуває декілька зовнішніх збурень: силу тяжіння Землі, відцентрову силу і силу Копіоліса. Всі ці збурення вимірюються з певною обмеженою точністю і швидкістю, а магнітне поле

додатково може спотворюватися низкою факторів, таких як випромінювання електрообладнання, залізні конструкції тощо.

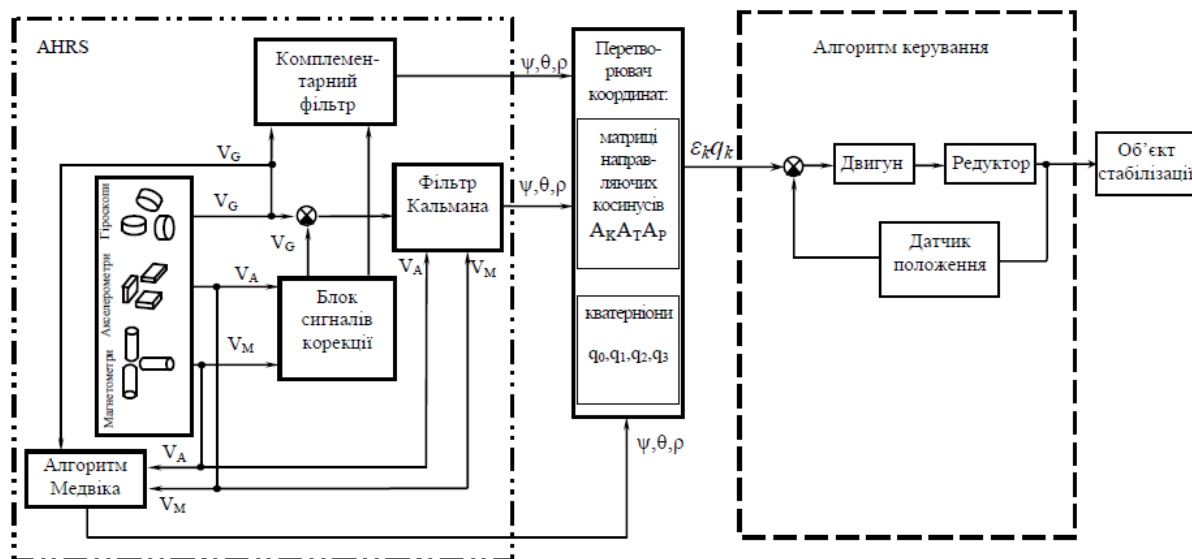


Рисунок 1 – Двохосна система непрямої стабілізації на базі AHRS

Тому в результаті вимірювань будуть сформовані: вектор прискорення об'єкта  $V_A$ , що корелюється з вектором тяжіння Землі в стані спокою; вектор магнітної індукції  $V_M$ , що корелюється з вектором магнітної індукції Землі і вектор кутових швидкостей  $V_G$ . Основним завданням AHRS є коригування похибки вимірювання кутових швидкостей об'єкта, використовуючи дані з акселерометра і магнетометра. На сьогоднішній день для вирішення цієї задачі існує велика кількість алгоритмів. Зокрема, найбільш розповсюдженим є використання алгоритмів, що базуються на фільтрі Калмана (ФК) та його модифікаціях (адаптивний ФК, розширений ФК і т. і.) [6,7]. Також великою популярністю користуються алгоритм, що використовує комплементарний фільтр [9], та алгоритм Медвіка [8].

Існує клас об'єктів, для яких в силу певних причин (зокрема масо-габаритних характеристик) конструктивна реалізація системи стабілізації і наведення можлива у вигляді двохосної редукторної або безредукторної системи. Стабілізацію таких об'єктів доцільно проводити непрямим методом, оскільки його технічна реалізація для таких об'єктів простіша, ніж прямого методу. Розглянемо двохосну систему непрямої стабілізації для наземного рухомого об'єкту. Непрямий метод стабілізації будь-якого обладнання (оптико-електронного модуля, антени, ствола гармати) на рухомому об'єкті полягає в утриманні деякої осі обладнання в заданому напрямку (відносно Землі або обраного орієнтуру). Це здійснюється шляхом введення кутів крену і тангажа і обертання об'єкту щодо відповідних осей наведення. При непрямому методі осі наведення і осі стабілізації збігаються. Сутність непрямого методу стабілізації полягає в перетворенні кутових координат, що характеризують задане положення осі обладнання, наприклад, в земній системі координат, у відповідні кутові координати (параметри стабілізації), віднесені до зв'язаної системи координат і відпрацьованні цих параметрів виконавчим механізмом.

Вирішення завдання перетворення кутових координат здійснюється наступним чином: кути крену і тангажа рухомого об'єкту від AHRS надходять до перетворювача координат, куди також вводяться кутові координати напрямку на деякий орієнтир, наприклад, в земній системі координат, перетворювач координат перераховує їх в

кутові координати в зв'язаній системі координат, які за допомогою виконавчого механізму вводяться на наведення об'єкта. Завдяки цьому вісь обладнання буде зберігати свій напрямок на заданий орієнтир незалежно від кутів крену і тангажа рухомого об'єкта.

Позначимо через  $O\xi\eta\zeta$  нерухому систему координат, яка паралельна земним осям, а через  $OXYZ$  – систему координат, жорстко зв'язану з об'єктом (рис. 2). Задача перетворення координат зводиться до відображення базису нерухомої системи координат в базис рухомої системи. В загальному вигляді перехід можна представити у вигляді:

$$[X, Y, Z] = A[\xi, \eta, \zeta], \quad (1)$$

де  $A$  – матриця переходу:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Матриця  $A$  може бути знайдена через матриці направляючих косинусів [10,11] шляхом трьох послідовних поворотів вихідної системи на кути ристання  $A_p$ , тангажа  $A_T$  та крену  $A_K$ :

$$A = A_K A_T A_p. \quad (3)$$

Інший метод перетворення координат базується на використанні кінцевих поворотів твердого тіла та понятті кватерніонів [11].

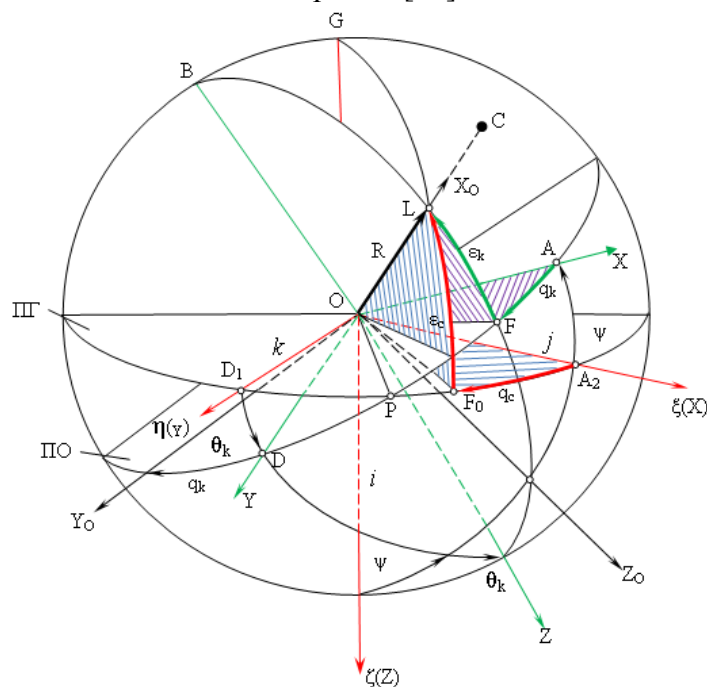


Рисунок 2 – Наведення об'єкта за наявності кутів крену і тангажа

Позначимо через  $R = OL$  вектор, що направлений на орієнтир в просторі (рис. 2). Його відображеннями на базисі  $G$  і  $B$  будуть кватерніони  $R_G$  та  $R_B$  відповідно:

$$\begin{aligned} R_G &= R_{G\xi}i + R_{G\eta}k + R_{G\zeta}j \\ R_B &= R_{B\xi}i + R_{B\eta}k + R_{B\zeta}j \end{aligned} \quad (4)$$

Тоді перехід від нерухомої системи координат до системи, зв'язаної з об'єктом можна записати у вигляді:

$$R_B = \tilde{\Lambda} \circ R_G \circ \Lambda, \quad (5)$$

де  $\Lambda = q_0 + q_1i + q_2k + q_3j$  кватерніон повороту і  $\tilde{\Lambda} = q_0 - q_1i - q_2k - q_3j$  кватерніон, спряжений до  $\Lambda$ , а вирази  $q_0, q_1, q_2, q_3$  – параметри Родрига-Гамільтона.

В результаті отримуємо:

$$\begin{aligned} R_{B\xi} &= (1 - 2(q_2^2 + q_3^2))R_{G\xi} + 2(q_0q_3 + q_1q_2)R_{G\eta} + 2(q_1q_3 - q_0q_2)R_{G\zeta}; \\ R_{B\eta} &= 2(q_1q_2 - q_0q_3)R_{G\xi} + (1 - 2(q_1^2 + q_3^2))R_{G\eta} + 2(q_0q_1 + q_2q_3)R_{G\zeta}; \\ R_{B\zeta} &= 2(q_0q_2 + q_1q_3)R_{G\xi} + 2(q_2q_3 - q_0q_1)R_{G\eta} + (1 - 2(q_1^2 + q_2^2))R_{G\zeta}. \end{aligned} \quad (6)$$

Якщо рівняння (6) записати у вигляді:

$$[\xi, \eta, \zeta]_B = A[\xi, \eta, \zeta]_G, \quad (7)$$

це буде відповідати виразу (1), при цьому матриця направляючих косинусів  $A$  буде виражена через параметри Родрига-Гамільтона.

Визначимо параметри для двохосної системи непрямої стабілізації (рис. 2). Перехід від базису  $G$  до базису  $B$  відбувається шляхом двох послідовних поворотів на кути крену  $\theta_k$  і тангажа  $\psi$ , яким відповідають кватерніони  $\Theta = \cos \frac{\theta_k}{2} + j \sin \frac{\theta_k}{2}$  та  $\Psi = \cos \frac{\psi}{2} + k \sin \frac{\psi}{2}$ , результатом буде кватерніон  $K = \Psi \circ \Theta$ . Отримуємо вирази для параметрів Родрига-Гамільтона кватерніона  $K$ :

$$\begin{aligned} q_0 &= \cos \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta_k}{2}, & q_1 &= -\sin \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta_k}{2}, \\ q_2 &= \cos \frac{\psi}{2} \sin \frac{\theta_k}{2}, & q_3 &= \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\theta_k}{2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Відображеннями вектора  $R$  на базисах  $G$  і  $B$ , відповідно до виразу (4) та рис. 2:

$$\begin{aligned} R_{G\xi} &= -\sin \varepsilon_c, & R_{G\eta} &= \cos q_c \cos \varepsilon_c, & R_{G\zeta} &= \sin q_c \cos \varepsilon_c \\ R_{B\xi} &= -\sin \varepsilon_k, & R_{B\eta} &= \cos q_k \cos \varepsilon_k, & R_{B\zeta} &= \sin q_k \cos \varepsilon_k \end{aligned} \quad (9)$$

Відповідно до (5) перетворення координат матиме вигляд  $R_B = \tilde{K} \circ R_G \circ K$ , в результаті чого отримуємо вираз (6). Підставивши в (6) значення проєкцій вектора  $R$  (9), маємо:

$$\sin \varepsilon_k = (1 - 2(q_2^2 + q_3^2))\sin \varepsilon_c - 2(q_0q_3 + q_1q_2)\cos q_c \cos \varepsilon_c + 2(q_1q_3 - q_0q_2)\sin q_c \cos \varepsilon_c; \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} q_k = \frac{-2(q_0q_2 + q_1q_3)\sin \varepsilon_c + 2(q_2q_3 - q_0q_1)\cos q_c \cos \varepsilon_c + (1 - 2(q_1^2 + q_2^2))\sin q_c \cos \varepsilon_c}{2(q_1q_2 - q_0q_3)\sin \varepsilon_c + (1 - 2(q_1^2 + q_3^2))\cos q_c \cos \varepsilon_c + 2(q_0q_1 + q_2q_3)\sin q_c \cos \varepsilon_c}. \quad (11)$$

Вирази (10), (11) є кутами стабілізації системи, що надходять до виконавчого механізму (рис. 2). Таким чином отримано алгоритмом перетворення координат, що базується на теорії кінцевих поворотів твердого тіла та використанні кватерніонів з параметрами Родрига-Гамільтона.

Головними перевагами використання кватерніонів при перетворенні координат є те, що параметри Родрига-Гамільтона не вироджуються при будь-яких положеннях твердого тіла, а вирішення задачі перетворення зводиться до розв'язку системи чотирьох лінійних рівнянь.

**Висновки.** Запропоновано та обґрунтовано підхід для створення систем стабілізації та наведення наземних рухомих об'єктів, що базується на використанні вимірювального модуля AHRS. Отримано алгоритм визначення кутів стабілізації та показано переваги використання кватерніонів для перетворювача координат двохосної системи непрямої стабілізації.

## Список літератури

1. Безвесільна О.М. Системи наведення та стабілізації озброєння: монографія / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, В.П. Квасніков, В.В. Чіковані. – К.: НАУ, 2014. – 176 с.
2. Патент України 83793. Інтегрована система пошуку, наведення, стабілізації та керування вогнем «триада-бт». Пиронер Я.М., Цисарж В.В., Стецюк В.Л., Яновський Ю.В., Баранчук О.І., Долеско А.О.; заявл. 26.04.2013, опубл. 25.09.2013, бюл. №18/2013.
3. Кузнецов Б.И. Разработка нейросетевой системы наведения и стабилизации вооружения легкобронированных машин / Б.И. Кузнецов, Т.Е. Василец, А.А. Варфоломеев // *Электротехника і Електромеханіка*. – 2008. – №2. – С. 31–34.
4. Путов В.В. Адаптивные электромеханические системы наведения и стабилизации специальных объектов и мобильных робототехнических комплексов / В.В. Путов, Ю.К. Козлов, В.П. Казаков, А.В. Путов // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2004. – №1. – С. 3–8.
5. Сущенко О.А. Методика выбора гироскопического измерителя для системы стабилизации информационно-измерительных устройств / О.А. Сущенко, С.Г. Егоров, С.В. Карасев // *Електроніка та системи управління*. – 2011. – №4(30) – С.63–67. – ISSN 1990–5548.
6. João Luís Marins An Extended Kalman Filter for Quaternion-Based Orientation Estimation Using MARG Sensors / João Luís Marins, Xiaoping Yun, Eric R. Bachmann, Robert B. McGhee, Michael J. Zyda // *International Conference on Intelligent Robots and Systems* – 2001 – Maui – pp. 2003–2011.
7. Philippe Martin Generalized Multiplicative Extended Kalman Filter for Aided Attitude and Heading Reference System. Philippe Martin, Erwan Salaun. // *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*. – Aug 2010. – Toronto, Canada. – pp. AIAA 2010-8300.
8. Madgwick S.O.H., Harrison A.J.L., Vaidyanathan R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm // *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. – Zurich, 2011. – pp.1-7.
9. Mahony R., Hamel T., Pfimlin J.M. Non-linear complimentary filters on the special orthogonal group // *IEEE Transactions on Automatic Control*. – Notre Dame, 2008. – №53(5). – pp.1203 - 1218.
10. E.Macias, D. Torres, and S. Ravindran, "Nine-axis sensor fusion using the Direction Cosine Matrix Algorithm on the MSP430F5xx Family", Application report, Texas Instruments Inc., Texas, February 2012, pp. 3–7.
11. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. Изд. 2-е, перераб. / Журавлев В.Ф. – М.: Издательство физико-математической литературы. – 2001. – 320 с. – ISBN 5-94052-041-3.

**Nadiia Bouraou, Prof., DSc., Anton Vozniuk, post-graduate**

*The National Technical University of Ukraine, "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

**Viacheslav Tsisarzh, PhD tech. sci., senior researcher**

*State Enterprise Scientific Research Institute Kvant Radar Sysytems, Kyiv, Ukraine*

**Stabilization and pointing system for land moving objects based on AHRS**

The objective of the article is to demonstrate the advantages of attitude heading reference systems (AHRS) based on MEMS technology and coordinate converter based on the theory of finite rotations of a rigid body and quaternions.

This paper shows a possibility of creation stabilization and pointing system for land moving objects AHRS based. It is illustrated by the biaxial system of indirect stabilization. It is shown the way to get two stabilization angles in quaternions representation. The main advantage of coordinate converter quaternions based is that the Rodrigues-Hamilton parameters do not degenerate under any position of rigid body and solving the problem of conversion is reduced to solving a system of four linear equations.

**stabilization system, position detection system course, quaternions**

Одержано 12.11.15

**УДК 621.311**

**Ю.Н. Веприк, проф., д-р техн. наук, О.А. Небера, асп.,**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г.Харьков, Украина, E-mail: neberaolga@gmail.com*

**А.П. Свиридов, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

## Математическая модель переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой и ее программная реализация

В статье представлена модель систем электроснабжения в переходных режимах и её программная реализация на основе уравнений в фазных координатах, которая позволяет воспроизводить как электромагнитные, так и электромеханические составляющие переходных процессов в электрической сети произвольной конфигурации.

**переходные процессы, фазные координаты, математическая модель, электрические машины, двигательная нагрузка**

**Ю.М. Веприк, проф., д-р техн. наук, О.О. Небера, асп.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м.Харків, Україна*

**А.П. Свіридов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

**Математична модель перехідних процесів в системах електропостачання з двигунним навантаженням та її програмна реалізація**

У статті запропоновано метод математичного моделювання систем електропостачання в перехідних режимах, що забезпечує можливість представлення електричної мережі довільної конфігурації. Представлена модель розроблена на основі рівнянь в фазних координатах і дозволяє відтворювати як електромагнітні, так і електромеханічні складові перехідних процесів.

**перехідні процеси, фазні координати, математична модель, електричні машини, двигунне навантаження**

**Постановка проблемы.** В реальной эксплуатации системы электроснабжения с двигательной нагрузкой (ЭСДН) находятся в условиях постоянно действующих возмущений – со стороны внешней энергосистемы, со стороны рабочих механизмов, со стороны внешней среды. Результатом этих воздействий является появление небалансов мощностей и моментов на валах электродвигателей. Отклонения параметров режима системы в ходе возникающих при этом переходных процессов могут выходить за

допустиме пределы и приводить к повреждениям и отключениям оборудования, нарушениям технологических процессов и ущербу. Выяснить влияние переходных процессов на оборудование, выбрать средства противоаварийного управления и оценить их эффективность можно только на основании расчетов переходных процессов, возникающих при внешних возмущающих, управляющих и защитных воздействиях, что, в свою очередь, возможно только при наличии соответствующих средств моделирования.

Развитие средств математического моделирования режимов работы электрических систем для повышения их точности и расширения круга решаемых задач принципиально возможно на основе перехода к математическим моделям, использующим уравнения в фазных координатах. Модели в фазных координатах как отдельных элементов, так и систем различной степени сложности имеют не только большую универсальность, но и более широкие возможности развития. Переход к моделям, основанным на уравнениях в фазных координатах, позволяет создать более полные модели, ориентированные не на конкретные расчетные схемы, а на широкий класс задач и энергетических объектов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известные и применяемые в расчетной практике модели и программные продукты, как правило [1], основаны на выделении и исследовании лишь одной из составляющих (электромагнитной или электромеханической), что ограничивает их по области применения, по точности и, что более существенно, по составу воспроизводимых явлений. Ряд явлений, в том числе и изменения частоты в течение переходных процессов, при этом выпадают из числа учитываемых факторов и вообще не рассматриваются.

Для упрощения задачи в применяемых моделях вводится ряд упрощений:

- расчет выполняется на одну фазу – по однофазной расчетной схеме;
- емкостные параметры элементов не учитываются;
- электромагнитные составляющие переходных процессов не рассматриваются, т.е. принимается допущение о том, что токи и напряжения в сети при коммутациях изменяются мгновенно, поэтому вместо дифференциальных уравнений переходных процессов электрическая сеть представляется алгебраическими уравнениями, а в систему уравнений переходных процессов включаются только уравнения движения роторов электродвигателей.

Задача при этом упрощается, но и характер переходного процесса отражается упрощенно – изменяются количественные и качественные характеристики переходного процесса.

С развитием средств вычислительной техники возможности развития математических моделей на основе уравнений в фазных координатах расширяются. Эти уравнения содержат параметры элементов сети (активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности и емкости) и параметры ее режима (токи, напряжения, мощности фаз), которые соответствуют реальным физическим параметрам электрических систем. Метод фазных координат разрабатывается, например, в работах [4, 5]. Математические модели элементов электрических систем в фазных координатах с использованием численного интегрирования дифференциальных уравнений неявными методами получены в [2]. Вместе с тем, целый ряд вопросов, связанных с определением параметров, получением математических моделей элементов, разработкой эффективных алгоритмов и программных средств на основе уравнений в фазных координатах и др. еще ждут своего решения. В числе сдерживающих факторов можно отметить также сложившиеся традиции (переходные процессы традиционно моделируются уравнениями Парка-Горева) и действующие

нормативные документы (для расчетов токов коротких замыканий предписывается [3] пользоваться методом симметричных составляющих), хотя адекватность получаемых результатов ограничена рамками принимаемых допущений.

Однако при том уровне развития элементной базы и программного обеспечения ЭВМ, который достигнут к настоящему времени, эти трудности становятся менее существенными и преодолимыми.

**Постановка задания.** Реализовать структурных подход моделирования систем электроснабжения с двигательной нагрузкой. Разработать модели трехфазных элементов в виде дифференциальных либо интегро-дифференциальных уравнений в фазных координатах и представить их в форме, удобной для включения в модель системы.

**Изложение основного материала.** В разработанной модели в качестве расчетной принята трехфазная схема системы и уравнения в фазных координатах. В систему дифференциальных уравнений переходных процессов включаются уравнения как вращающихся электрических машин, так и статических элементов сети с учетом их активных, индуктивных и емкостных параметров и схем соединения обмоток. Это позволяет получить более адекватную картину протекания переходных процессов как в электродвигателях, так и в электрической сети.

Разработанные в составе математической модели средства и их программная реализация (AnFaz3) позволяют воспроизводить как электромагнитную, так и электромеханическую составляющие переходных процессов в электрических системах произвольной конфигурации. Для обеспечения более высокой точности получаемых результатов до расчета непосредственно переходных процессов программой AnFaz3 выполняются расчеты параметров элементов сети в фазных координатах

Возможности программного продукта AnFaz3 ниже проиллюстрированы на примере расчетной схемы, представленной на рис. 1.

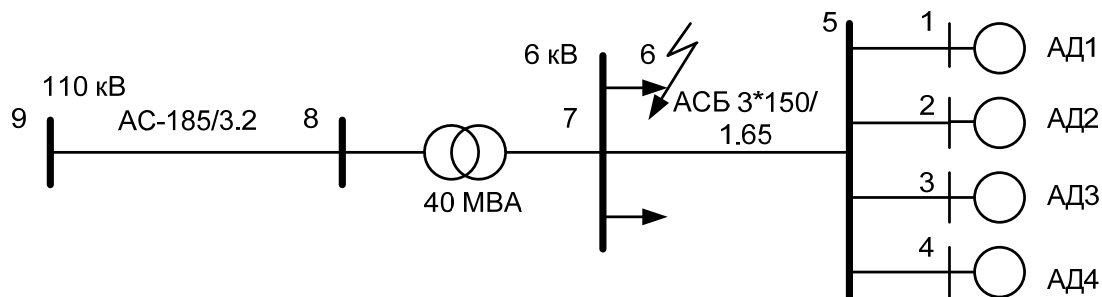


Рисунок 1 – Расчетная схема

На рис. 2 представлены цифрограммы переходных процессов в двигателях (узел 5) и электрической сети при кратковременном (0.5 с) отключении питающей кабельной линии (ветвь 5-7). Расчеты выполнены с шагом интегрирования 0.0001 с. (на цифрограммах первые 0.5 с (5000 шагов интегрирования) – переходный процесс до установления начальных условий, соответствующих исходному нормальному режиму, следующие 0.5 с – перерыв питания, и затем – время до окончания заданного времени расчета переходного процесса).

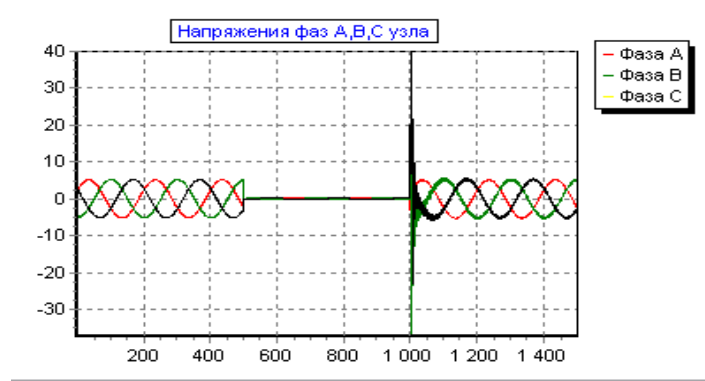


Рисунок 2 – Напряжения фаз на шинах ПС (узел 7)

На шаге численного интегрирования решается система дифференциальных уравнений, составляемых программно, определяются мгновенные значения напряжений в узлах (рис. 2), по ним находят токи фаз в элементах сети и в обмотках двигателей (рис. 3), воспроизводятся электромагнитные моменты и скорости вращения двигателей (рис. 4), что позволяет определить предельно допустимую длительность перерыва питания и учитывать ее при выборе и настройке устройств АВР.

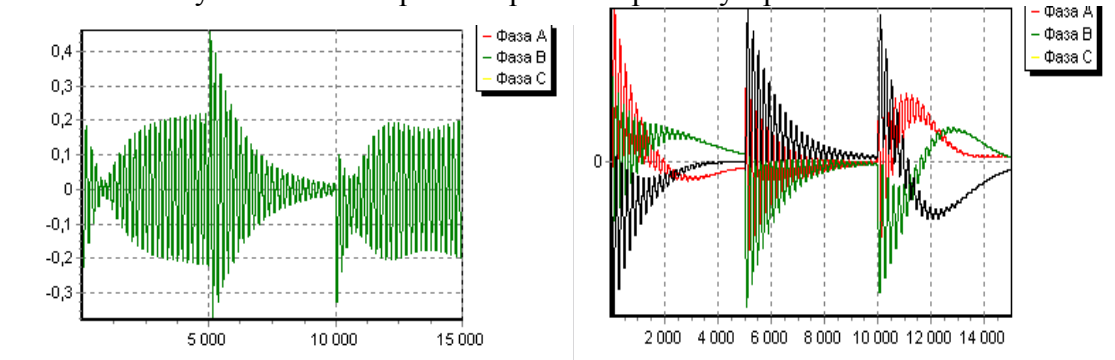


Рисунок 3 – Токи фаз статора и ротора АД

Воспроизводятся токи фаз статорных и роторных обмоток, что позволяет оценить влияние длительности самозапуска на электродвигатели, а также использовать результаты расчета для оценки механических воздействий на изоляцию обмоток.

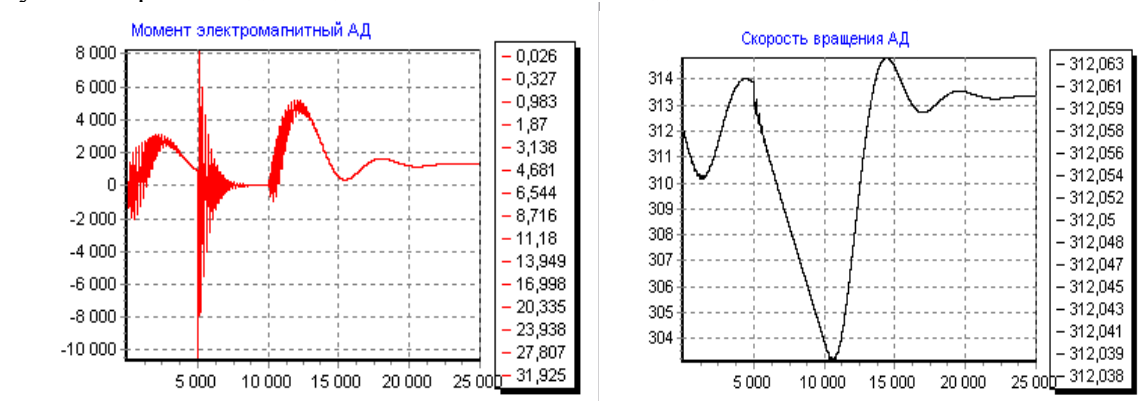


Рисунок 4 – Момент электромагнитный и скорость вращения ротора АД

Повышение точности моделирования по сравнению с упрощенными моделями достигается за счет того, что:

- в расчетную схему включается не упрощенная, а полная схема электрической сети с учетом активных, индуктивных и емкостных параметров фаз;
- расчет выполняется не на одну фазу (по однофазному эквиваленту), а для трехфазной сети;
- электромагнитные моменты электродвигателей (рис. 4) определяются не по статическим характеристикам, а по мгновенным значениям напряжений на зажимах и токов в обмотках двигателей на шаге численного интегрирования.

Важно отметить и то, что при наличии более полной модели и картина переходных процессов получается более полной. В частности, моделирование процессов самозапуска электродвигателей с воспроизведением переходных процессов и в электрической сети дает возможность определить изменения узловых напряжений во время переходного процесса как по модулю, так и по фазе. Это, в свою очередь, позволяет выявить перенапряжения в сети (и на шинах электродвигателей) при коммутациях (рис. 2) и локальные отклонения частоты в узлах сети (рис. 5) во время переходных процессов. Перенапряжения вызываются наложением на напряжения основной частоты высокочастотных составляющих, обусловленных колебательными процессами при наличии в сети индуктивных и емкостных элементов, и, как видно из рис. 2, могут достигать опасных для изоляции электродвигателей значений.

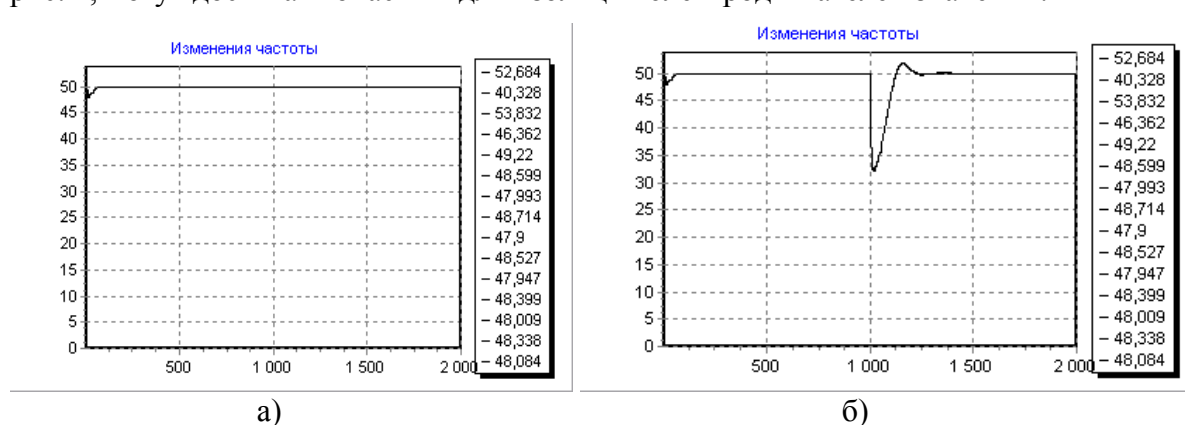


Рисунок 5 – Локальные отклонения частоты в узлах сети

Локальные отклонения частоты связаны с тем, что взаимные углы между векторами узловых напряжений во время переходных процессов изменяются, а это означает, что скорости вращения векторов (и частота) отклоняются от синхронной. Кратковременные перерывы питания электродвигателей, как это видно из рис. 5, сопровождаются локальными отклонениями частоты (рис. 5б) на шинах НН (узел 7) трансформаторной ПС при синхронной частоте на шинах источника питания (узел 9, рис. 5а).

В применяемых в расчетной практике моделях принимаемые допущения ограничивают область их применения, точность и состав воспроизводимых явлений. То обстоятельство, что модели в фазных координатах обеспечивают более полное воспроизведение всех составляющих переходных процессов являются факторами в пользу разработки и применения таких моделей.

При симметричных коротких замыканиях (рис. 6) появление небаланса моментов и мощностей также приводит к локальному снижению частоты в расчетной части схемы при сохранении неизменной частоты на шинах источника питания.

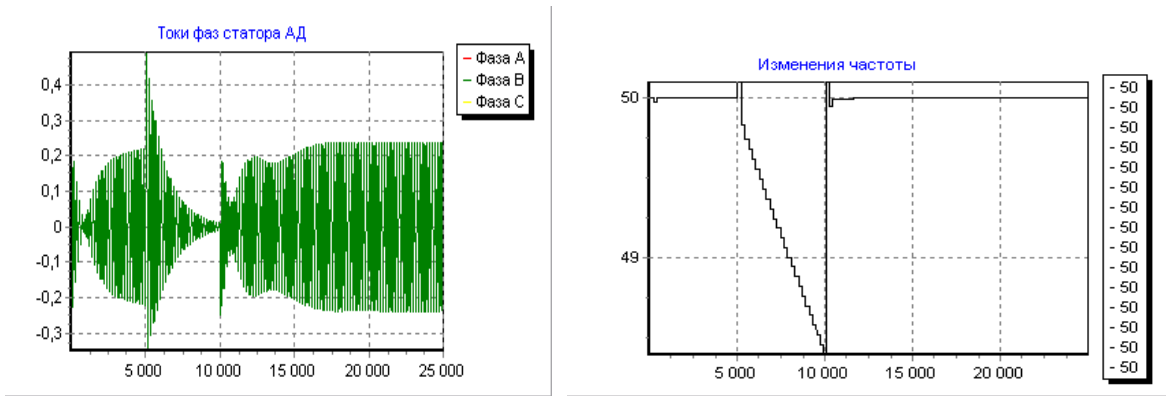


Рисунок 6 – Токи фаз статора и локальные отклонения частоты при КЗ

Степень снижения частоты зависит от загрузки двигателей, суммарной нагрузки узлов статической нагрузки, от длительности КЗ. Определение отклонений частоты необходимо при выборе настроек устройств АЧР. А отключения коротких замыканий при наличии в сети индуктивных и емкостных элементов сопровождаются перенапряжениями (рис. 7).

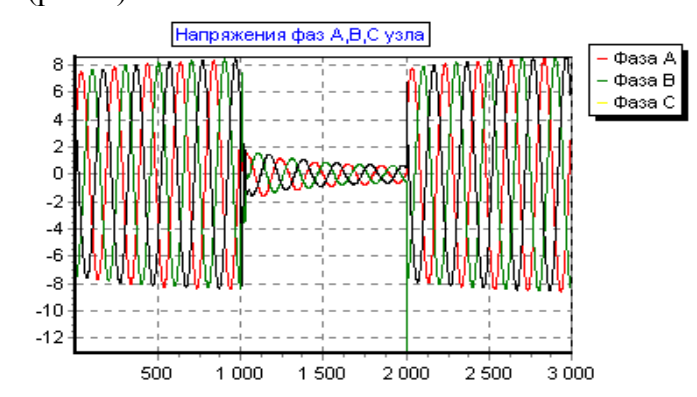


Рисунок 7 – Напряжения фаз

В качестве несимметричных коммутаций рассмотрены однофазные замыкания на землю. При однофазных замыканиях влияние электромагнитной составляющей переходных процессов на элементы сети характеризуется тем, что напряжение неповрежденных фаз возрастает до линейного, высокочастотные составляющие токов и напряжений приводят к дополнительным перенапряжениям.

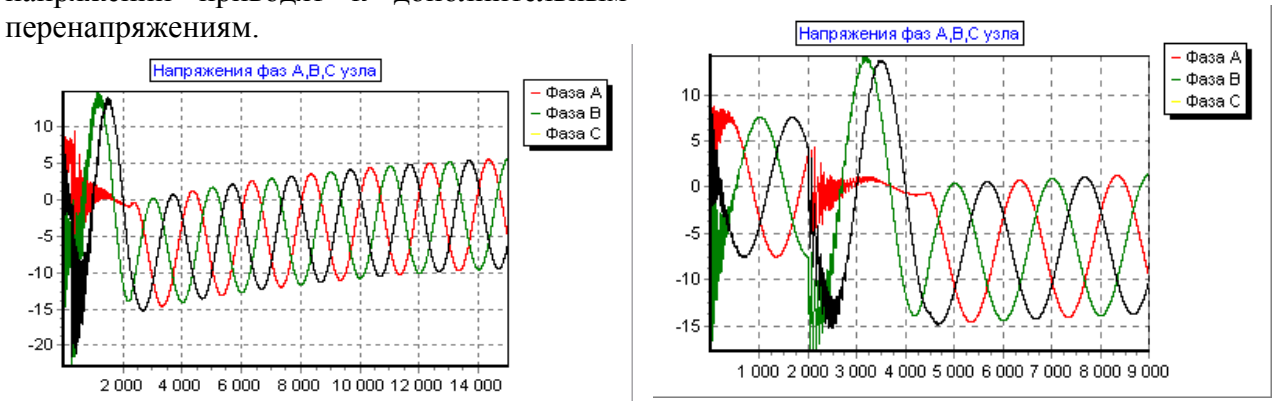


Рисунок 8 – Напряжения фаз в точке замыкания (при изменении сопротивления изоляции от  $R_{из}=10^4$  до  $10^6$  Ом) при ОЗЗ и его отключении

После отключения замыкания треугольник напряжений смещается, длительность перезаряда емкостей фаз и восстановления симметрии зависит от состояния изоляции сети (рис. 8).

В качестве внешних воздействий в программе AnFaz3 предусмотрены: симметричные и несимметричные короткие замыкания, перерывы питания, изменения нагрузки, АВР, АПВ и набор их при необходимости можно увеличить без изменения состава и структуры основных вычислительных процедур. Это позволяет в рамках одной модели рассматривать весь комплекс вопросов, решение которых необходимо в задачах противоаварийного управления систем ЭСДН.

#### **Выводы.**

1. Разработанная математическая модель систем электроснабжения с двигательной нагрузкой позволяет моделировать переходные процессы по уравнениям в фазных координатах с воспроизведением электромагнитных и электромеханических составляющих при симметричных и несимметричных коммутациях в системах ЭСДН произвольной структуры.

2. Переход к моделированию в фазных координатах позволяет расширить возможности моделей, а также включить в число учитываемых факторы, вообще не рассматриваемые традиционными моделями (перенапряжения, изменения частоты, неодновременность коммутации по фазам и др.).

3. Модель отражает все основные факторы, влияющие на режимы работы систем ЭСДН и может служить для выбора и оценки эффективности средств защиты (отключения КЗ, действие АПВ, АВР), а также для разработки противоаварийных средств в тех случаях, когда средства защиты оказываются недостаточно эффективными.

В дальнейшем планируется провести исследование по применению разработанных моделей и программных средств для анализа переходных процессов в электрических сетях среднего класса напряжения 6-35 кВ.

#### **Список литературы**

1. Гуревич Ю.Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, А.А. Окин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
2. Веприк Ю.Н. Базовая модель электромагнитных переходных процессов в электрических системах с несимметрией. / Ю.Н. Веприк // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2. – С.37-42.
3. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках напряжением свыше 1 кВ. ГОСТ 2751-87.
4. Коротков Б. А. Алгоритмы имитационного моделирования переходных процессов в электрических системах / Б.А. Коротков, В.Л. Попков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. – 280с.
5. Мисриханов М.Ш. Уточнение определения мест повреждения на ВЛ при использовании фазных составляющих. / М.Ш. Мисриханов, В.А. Попов, Н.Н. Якимчук, Р.В. Медов // Эл. станции. – 2001. – № 1. – С. 28-32.

**Vepryk Yuriy, Prof., DSc., Nebera Olga, post-graduate**

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine*

**Albert Sviridov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine*

#### **A mathematical model transients in power supply systems with motor load and its software implementation**

The article presents a model of of power supply systems in transient modes based on the equations in the phase coordinates, which allows you to reproduce transients in the electrical network of any configuration.

Based on the presented model have been developed software tools that allow to research of electromagnetic and electromechanical switching transients (symmetrical and asymmetrical short-circuit,

automatic reclosure, supply interruptions, ARS, etc..) in electrical networks with the motor load for the choice of means of antifault control and protection.

Transition to modeling based on phase coordinates allows to extend the capabilities of models, and also to take into account factors that are not considered by traditional models.

**transients, phase coordinates mathematical model, electrical machines, motor load**

Одержано 29.01.16

**УДК 681.5:004:635.64:004**

**Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук,  
Т.О. Прокопенко, асист.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: arabeska@ukr.net*

## **Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці**

У статті запропонований програмно-технічний комплекс автоматизованого збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці призначений для контролю мікроклімату в середині теплиці; відстеження зовнішніх метеоумов; аналізу одержуваних даних, як бази знань адаптивної системи керування.

**нейронна мережа, температурно-вологісний режим, теплиця, система керування**

**Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук, В.М. Каліч, проф., канд. техн. наук, Т.А. Прокопенко, асист.**  
*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кіровоград, Украина*

**Адаптивная автоматизированная система сбора и контроля основных параметров микроклимата в теплице**

В статье предложен программно-технический комплекс автоматизированного сбора и контроля основных параметров микроклимата в теплице предназначен для контроля микроклимата в середине теплицы; отслеживание внешних метеоусловий; анализа получаемых данных, как базы знаний адаптивной системы управления.

**нейронная сеть, температурно-влажностный режим, теплица, адаптивная система управления**

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших задач в поліпшенні життєвих умов населення України є забезпечення його свіжими овочами. Споживчий ринок України в зимово-весняний період року забезпечується тільки за рахунок споруд закритого ґрунту. Серед технологічних процесів, що проводяться в теплицях, особливу важливість мають процеси автоматичного контролю і підтримки параметрів мікроклімату теплиць. Усі параметри мікроклімату тісно пов'язані між собою, оскільки вони впливають один на одного, а усі разом визначають ріст та розвиток рослин певної культури. В останній час все більшого розповсюдження набувають адаптивні системи керування з використанням нейронних мереж. Застосування в автоматичних системах керування мікроклімату в теплиці математичного апарату нечіткої логіки дозволяє формалізувати і обробляти інформацію про умови контролю, отриману від експерта в лінгвістичній формі. Однак більшість розглянутих таких систем не мають інформації з об'єкта досліджень в реальному часі, оскільки опрацьовують бази даних з раніше

отриманої інформації; та не враховують і не регулюють енерговитрати при виробництві овочів, що в теперішній час підвищення цін на енергоносії має не аби яке значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В результаті аналізу літературних джерел [1-4] теплицю, як об'єкт керування температурно-вологісним режимом, можна вважати багатовимірним об'єктом керування та представити у вигляді схеми (рис. 1).

До схеми входять наступні фактори: контрольовані (які безпосередньо регулюються в теплиці), неконтрольовані (які містять параметри зовнішнього середовища), експлуатаційні та конструкторські (які визначені виробниками теплиці та її розміщенням).

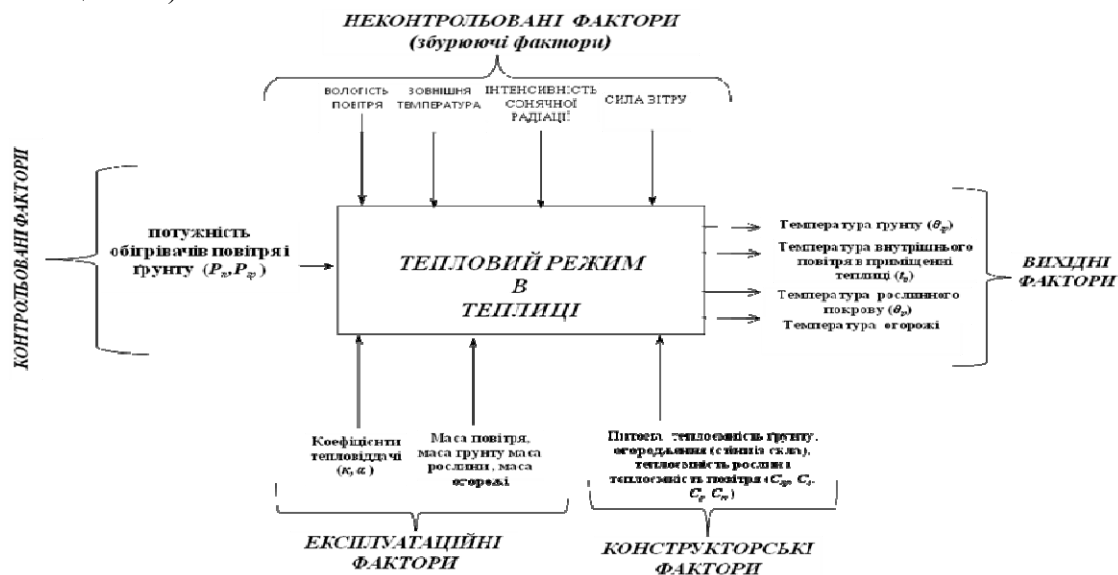


Рисунок 1 – Схема формування теплового режиму в теплиці

Основний контрольований та регульований вплив на температуру ґрунту, температуру внутрішнього повітря в приміщенні теплиці, температуру рослинного покриву та температуру огорожі при вирощуванні овочів здійснює зміна потужності обігрівачів повітря. Досвід впровадження автоматизованих систем керування показує, що на етапі проектування системи досить складно вибрати єдиний критерій керування. Тому в системі повинна існувати можливість оперативно задати критерій під час експлуатації, причому методи його завдання повинні відображати агрономічні, економічні і технічні вимоги, що пред'являються до системи.

**Постановка завдання.** Зазвичай режим мікроклімату в теплицях моніторять на протязі доби за фазами росту рослин з врахуванням особливостей вирощуваних культур і сортів. Вимірювання окремих змінних і визначення параметрів, особливо у режимі реального часу і створення цілком адекватної моделі стає досить важкою задачею. В свою чергу питання дослідження і розробки систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату, здатних працювати в умовах інформаційної невизначеності теплиць, вивчені недостатньо. Тому, задача вивчення всієї сукупності зв'язків, що визначають параметри вихідних величин, а також підвищення надійності та ефективності роботи обладнання, отримання своєчасної технологічної інформації, зниження енергоспоживання та підвищення захисту рослин від негативних факторів, для створення системи автоматизованого збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці, як бази знань адаптивної системи керування є актуальною.

**Виклад основного матеріалу.** Стає очевидним, що без єдиної системи збору інформації і прийняття рішень на основі всіх зібраних даних не обійтись. Сучасна система управління повинна отримувати дані з об'єкта управління, прораховувати

необхідну кількість енергії і розподіляти її між всіма джерелами тепла. Така система управління теплиць повинна включати комп'ютерну техніку і складатись з приладового та програмного забезпечення.

Встановлено, що архітектура адаптивної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці аркового типу, побудованої за допомогою нейро-нечіткого підходу повинна включати блок нейромережевої адаптації, на вході якого діють агротехнічні вимоги до вирощування продукції, та базу знань технологічного процесу, яка постійно оновлюється за даними про контрольовані збурення.

На вхід надходять дані щодо потужності, яка здатна забезпечити необхідний температурно-вологісний режим в теплиці. Вихідний параметр – потужність, яка потрібна для обігріву теплиці при дотриманні агротехнічних вимог та економії енерговитрат у виробника. В залежності від їх значень комутаційний пристрій повинен забезпечувати один із режимів:

- режим 1 – підключення лише обігрівача повітря;
- режим 2 – підключення лише обігрівача ґрунту;
- режим 3 – підключення обігрівача повітря та ґрунту.

На початковому етапі за допомогою НМ із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі нечіткої логіки. Далі відбувається запуск АСК.

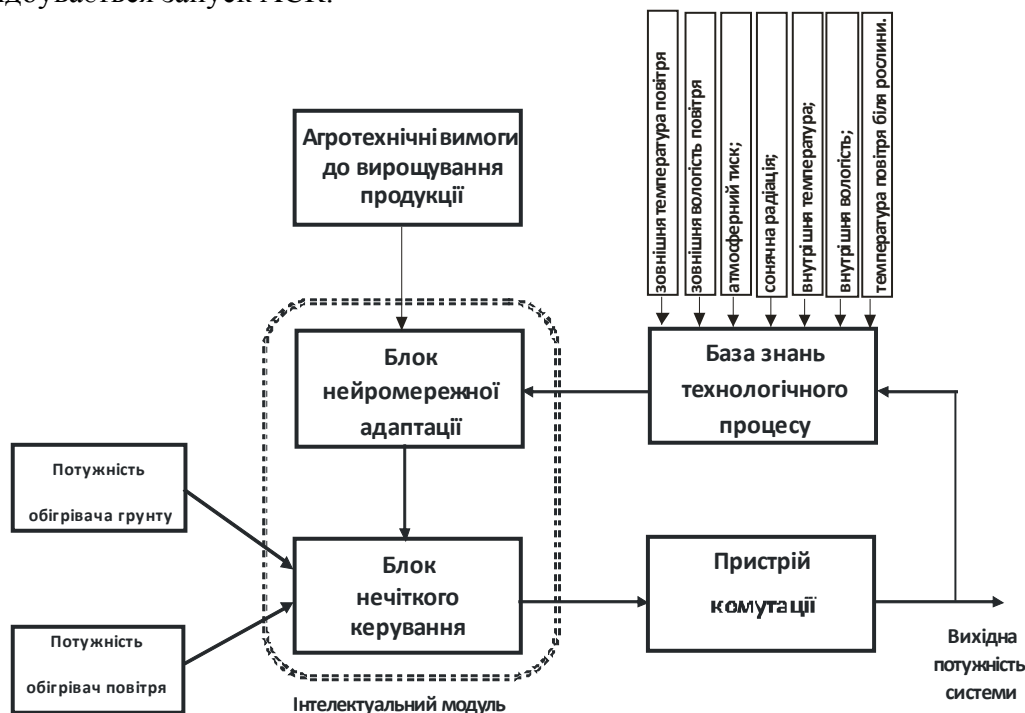


Рисунок 2 – Архітектура автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці

У процесі функціонування постійно поповнюється база знань технологічного процесу. На початковому етапі нейромережевого моделювання температурно-вологісного режиму в теплиці база знань наповнюється на основі експериментальних досліджень. При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де за допомогою НМ здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це виконується на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки, який можна реалізувати за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету

*MatLab*®, а саме графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System), цей редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейронечіткі мережі [1,2,5].

В результаті використання нейромережевої адаптації можна оптимізувати структуру автоматизованої системи керування температурно-вологісним режимом овочевої теплиці в умовах реального часу та створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування АСК тепличного господарства.

Тому для контролю мікроклімату в середині теплиці; відстеження зовнішніх метеоумов; аналізу одержуваних даних, був запропонований програмно-технічний комплекс (рис. 3, 4) автоматизованого збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці, як бази знань адаптивної системи керування.



Рисунок 3 – Загальний вигляд програмно-технічного комплексу

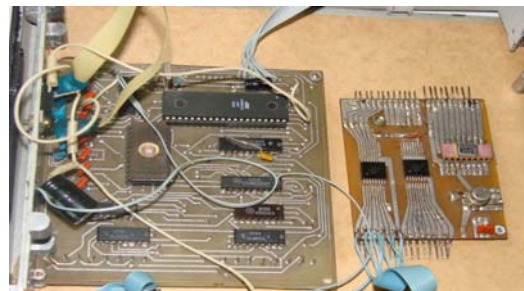


Рисунок 4 – Вигляд плати контролю програмно-технічного комплексу

Функціональні можливості дослідної установки – контроль мікроклімату в двох прольотах теплиці; стеження за зовнішніми метеоумовами на ПК; архівація і аналіз отриманих даних на ПК.

Вимірювальний комплекс захищений патентом на винахід України № 8716 U. Структурна схема комплексу представлена на рис. 5.

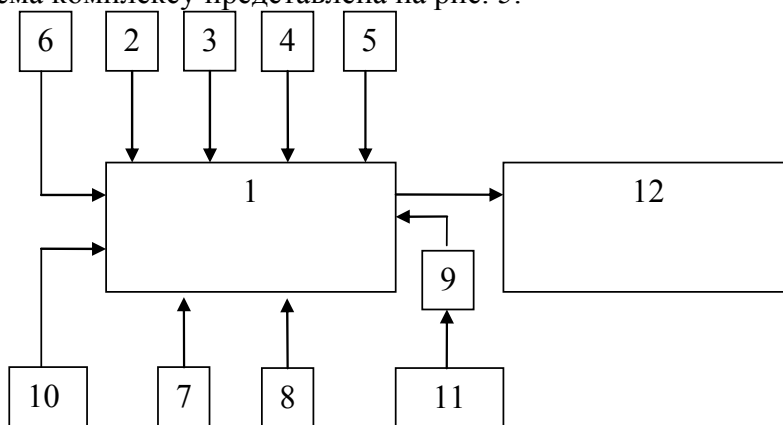


Рисунок 5 – Структурна схема програмно-технічного комплексу

Комплекс містить обчислювальний блок контролю 1; датчик зовнішньої температури повітря 2; датчик зовнішньої освітленості 3; датчик швидкості вітру 4; датчик вологості повітря в теплиці 5; датчик інтенсивності сонячної радіації 6; датчик температури ґрунту в теплиці 7; датчик температури повітря в теплиці 8; датчик температури теплоносія 9; датчик напрямку вітру 10; система опалення 11; блок накопичення та вводу-виводу інформації - 12.

Програмно-технічний ВК працює таким чином. Інформація з усіх датчиків потрапляє до обчислювального блоку контролю – 1, а потім або виводиться на індикатор, або передається до ЕОМ вищого рівня, де потім зберігається. В разі

необхідності оператор може отримати інформацію про покази кожного датчика, роздрукувати криві зміни всіх параметрів впродовж доби або періоду вегетації.

Запропонована система контролю програмно-технічного ВК в теплиці призначена для:

- контролю мікроклімату в середині теплиці;
- відстеження зовнішніх метеоумов;
- аналізу одержуваних даних.

Розроблений комплекс, який враховує багатofакторність, нестационарність та нелінійність параметрів, доцільно використовувати для забезпечення енергоефективних параметрів процесу вирощування агротехнічних культур в овочевій теплиці. Накопичення експериментальних наборів даних, потрібно здійснювати протягом, як мінімум, одного завершеного технологічного циклу вирощування агротехнічних культур, а отримані дані можна використовувати для аналогічних конструкцій теплиць та для синтезу нейронних мереж системи керування

**Висновки.** Розроблений програмно-технічний комплекс автоматизованого збору та контролю основних параметрів мікроклімату овочевої теплиці в умовах реального часу дозволить створювати енергоефективну поновлювану базу знань режимів функціонування тепличного господарства для адаптивної системи керування, що дозволить підвищити ефективність вирощування овочів.

## Список літератури

1. Прищеп Л.Г. Эффективная электрификация защищенного грунта / Л.Г. Прищеп. – М.: Колос, 1980. – 208 с
2. Рыков А. Системы управления: сравнительный анализ // Тепличные технологии. – 2005. – №4. – С.16-18.
3. Токмаков Н.М. Особенности управления микроклиматом в ангарных теплицах. Гавриш, 2007, № 7. – С. 24.
4. Мартыненко И.И. Автоматизация управления температурно-влажностным режимом сельскохозяйственных объектов / И.И. Мартыненко, Н.Л. Гирнык, В.М. Полищук. – М.: Колос, 1984. – 152с.
5. Прокопенко Т.О. Интеллектуальная система керування температурно-вологісним режимом у теплиці / Т.О. Прокопенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип.209, Ч.І. – С. 140-147.

**Larisa Vihrova, Prof., PhD tech. sci., Viktor Kalich, Prof., PhD tech. sci., Tetyana Prokopenko, assist.**  
*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Adaptive automated system collection and control of the basic parameters of the microclimate in the greenhouse**

The purpose of this article is to improve the reliability and efficiency of the equipment of greenhouses, timely receipt of information technology, reducing power consumption and increasing the protection of plants against adverse factors through the creation of automated data collection and monitoring of basic parameters of microclimate in greenhouses, as the knowledge base of the adaptive control system.

It was established that the architecture of the adaptive control system of temperature and humidity conditions in the greenhouse arch type, constructed using fuzzy approach should include block neural adaptation, at the entrance of which are agronomic requirements of growing production, and the knowledge base of the process that is constantly updated according to controlled disturbance. As a result, for climate control in the middle of a greenhouse; tracking external weather conditions; Analysis of the data was proposed program-technical complex automated data collection and monitoring of basic parameters of microclimate in greenhouses, as the knowledge base of the adaptive control system.

The software and hardware automated data collection and monitoring of basic parameters of microclimate of greenhouse vegetables in a real time will create renewed energy efficient modes of operation knowledge base greenhouses for adaptive management system that will improve the efficiency of growing vegetables.

**neural network, temperature and humidity conditions, greenhouse management system**

Одержано 20.11.15

УДК 681.317.39

**О.Й. Гонсьор, доц., канд. техн. наук***Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна,**E-mail: gonsor\_oksana@mail.ru*

## Вимірювальний перетворювач для дослідження сільськогосподарської продукції за імітансом

В даній статті розглянуто метод контролю якісних параметрів сільськогосподарської продукції за її електричними параметрами з допомогою перетворювача «імітанс-напруга». Наведено еквівалентну електричну схему чотиризатискачевої електролітичної комірки з об'єктом досліджень. Також розглянуто структурну та електричну схему вимірювального перетворювача, який дає можливість виміряти активну та реактивну складові імітансу об'єкту досліджень та порівняти їх з відповідними значеннями базового зразка.

**вимірювальний перетворювач, контроль якості, електричні показники якості, імітанс**

**О.И. Гонсьор, доц., канд. техн. наук***Львовский национальный аграрный университет, г. Львов, Украина***Измерительный преобразователь для исследования сельскохозяйственной продукции по имитансу**

В данной статье рассмотрен метод контроля качественных параметров сельскохозяйственной продукции по электрическим параметрам с помощью преобразователя «имитанс-напряжение». Показана эквивалентная электрическая схема четырехэлектродной электролитической ячейки с объектом исследования. Также рассмотрены структурная и электрическая схемы измерительного преобразователя, который дает возможность измерить активную и реактивную составляющие имитанса объекта исследований и сравнить их с соответствующими значениями базового образца, **измерительный преобразователь, контроль качества, электрические показатели качества, имитанс**

**Постановка проблеми.** Вимірювання і контроль параметрів якості різних об'єктів, представлених багатоелементною еквівалентною схемою заміщення, часто використовується при дослідженні різних хімічних процесів, вимірюванні вологості, електропровідності, вмісту солей, дослідженнях у біології, медицині, електрохімії і інших областях. Вирішення перелічених задач можна здійснити за допомогою сучасних апаратних і програмних засобів.

Важливим є забезпечення оперативного контролю якості сільськогосподарської продукції, з визначенням основних її властивостей на основі електрофізичних параметрів. Одним із перспективних напрямів побудови технічних засобів контролю якості таких об'єктів є вимірювання імітансу багатоелементного двополюсника, яким вони подаються [1]. При цьому доволі просто реалізуються прийняті в кваліметрії методи оцінювання якості – диференційний або комплексний [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Істотний внесок у розвиток теорії і практики отримання інформації про параметри елементів двополюсника внесли наукові дослідження представлені в наукових працях [3-6], де висвітлено можливості контролювати певні параметри води, спиртових розчинів та інших об'єктів шляхом вимірювання комплексної провідності (адмітансу) Серед робіт останніх років слід зазначити дисертаційні роботи М.Р. Герасим [7], Плахтій Н.Л. [8], Мартинович Н.В. [9] В результаті проведених ними досліджень вирішена низка важливих теоретичних і практичних питань, що стосуються методів вимірювання електричних параметрів

різних об'єктів кваліметрії та метрологічного забезпечення вимірювань. Проте важливим питанням є розроблення вимірювального перетворювача для реалізації диференційного методу оцінювання якісних параметрів продукції.

**Постановка завдання.** Як було зазначено вище, одним із перспективних варіантів реалізації оперативного контролю якості сільськогосподарської продукції є вимірювання узагальнених (інтегральних) показників. В даному випадку пропонується як інтегральний показник вимірювати активну та реактивну складові комплексної електричної провідності об'єкта дослідження та порівнювати отримані значення з відповідними параметрами базового зразка. Основними перевагами методу є відносно висока точність та відтворюваність, простота та доступність приладів, можливість автоматизувати процес досліджень [10, 11].

Принцип вимірювань заснований на залежності електричної провідності продукції, яка поміщена в електролітичну комірку (об'єкт досліджень), від кількості розчинених солей. Комірка – це заповнена електролітом (досліджуваною речовиною) посудина з двома або більше електродами. Проводиться таке вимірювання як на постійному, так і на змінному струмі з використанням контактних і безконтактних сенсорів.

**Виклад основного матеріалу.** В методі, який розглядається, об'єкт контролю подається у вигляді двополюсника в колі змінного струму та вимірюються активна та реактивна складові його імітансу. Вимірювання рекомендується здійснювати з допомогою чотириелектродної електролітичної комірки, оскільки її застосування дозволяє усунути ряд похибок, зокрема похибку від поляризації [12].

Чотириелектродна електролітична комірка має два струмові та два потенціальні електроди. До струмових електродів підводиться стабілізований змінний струм. Поляризація завжди буде спостерігатися на струмових електродах. Потенціальні електроди розміщені в глибині рідини, де поляризації від струмових електродів вже немає.

Еквівалентна схема чотириелектродної електролітичної комірки, яка використовується для контролю якості об'єкта досліджень за електричними параметрами зображена на рис. 1:

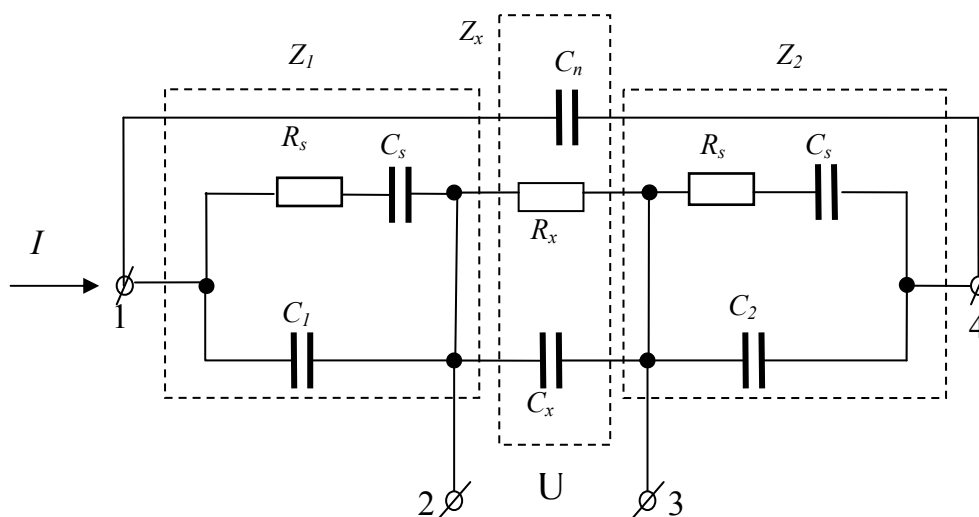


Рисунок 1 – Еквівалентна електрична схема чотириелектродної електролітичної комірки

В наведеній еквівалентній схемі 1, 4 – струмові електроди, 2, 3 – потенціальні.  $Z_1$ ,  $Z_2$  та  $Z_x$  – утворюють інформативний імітанс схеми вимірювання

Вплив частотозалежних елементів, таких як неінформативна паралельна ємність  $C_{II}$  та імпеданс Варбурга (опір  $R_s$  та ємність  $C_s$ ) усуваються апаратними методами, тобто

Комплексний опір  $Z_X$  в являє собою паралельну схему заміщення ємнісного характеру з елементами  $R_X$  та  $C_X$ .

Ємнісна складова зумовлена переміщенням зарядів один відносно другого на електродах, що проходить при змінах струму в розчині електроліту; активна складова - це опір електроліту. Ємності  $C_1$  та  $C_2$  – ємності подвійного шару, які є нестабільними і їх вплив необхідно усунути в процесі вимірювання.

З допомогою сучасних пристроїв можливо реалізувати вимірювання як активної так і реактивної складової провідності. При проведенні подібних вимірювань за інформативний параметр приймають, як правило, лише активну провідність. Проте дослідження показали [12], що доцільно реактивну складову теж вважати інформативним параметром комплексної провідності багатоелементного двополюсника.

В даний час особливо важливо, щоб результати вимірювань можна було опрацювати з допомогою комп'ютерних засобів і таким чином автоматизувати процес контролю. Використовуючи перетворювач провідності електролітичної комірки в напругу, який будується на основі операційних підсилювачів ОП1-ОП4, можна розробити чотиризатискачеву схему для контролю якості сільськогосподарської продукції імітансним методом. Застосування такої схеми дозволяє усунути вплив неінформативних параметрів на результати вимірювання (рис. 2). В процесі вимірювання визначаються електричні параметри базового та досліджуваного зразка продукції та переводяться у формат, зручний для перетворення в цифровий код (напруга  $U_0$  та  $U_X$ ). Отримані значення порівнюють, аналізують та роблять висновки про відповідність чи не відповідність зразка вимогам нормативних документів.

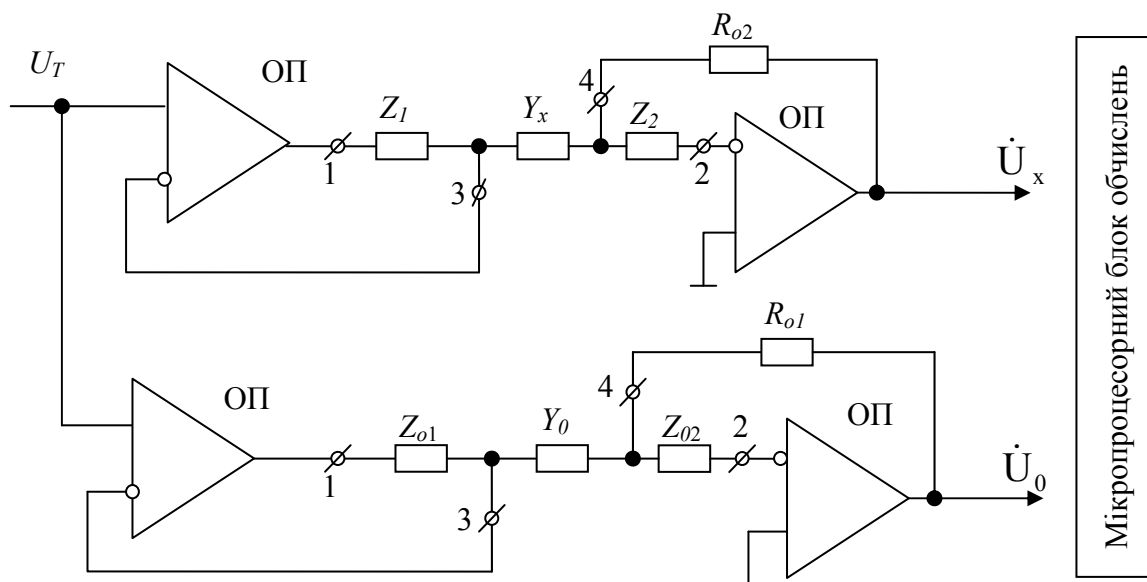


Рисунок 2 – Електрична схема вимірювального перетворювача для контролю якості сільськогосподарської продукції за електричними параметрами

Виходячи з даної схеми, з допомогою виразів (1) та (2), напруги  $U_X$  та  $U_0$  можна виразити через значення тестової напруги  $U_T$ :

$$\dot{U}_x = -U_T \frac{R_{01}}{Z_x} = -U_T R_{01} Y_x, \quad (1)$$

$$\dot{U}_0 = -U_T \frac{R_{02}}{Z_0} = -U_T R_{02} Y_0. \quad (2)$$

Подаючи сигнали  $U_x$  та  $U_0$  на фазочутливі детектори (ФД) та аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), можна виділити активну та реактивну складову цих сигналів, порівняти їх та здійснити обчислення з допомогою мікропроцесорних засобів (рис. 3).

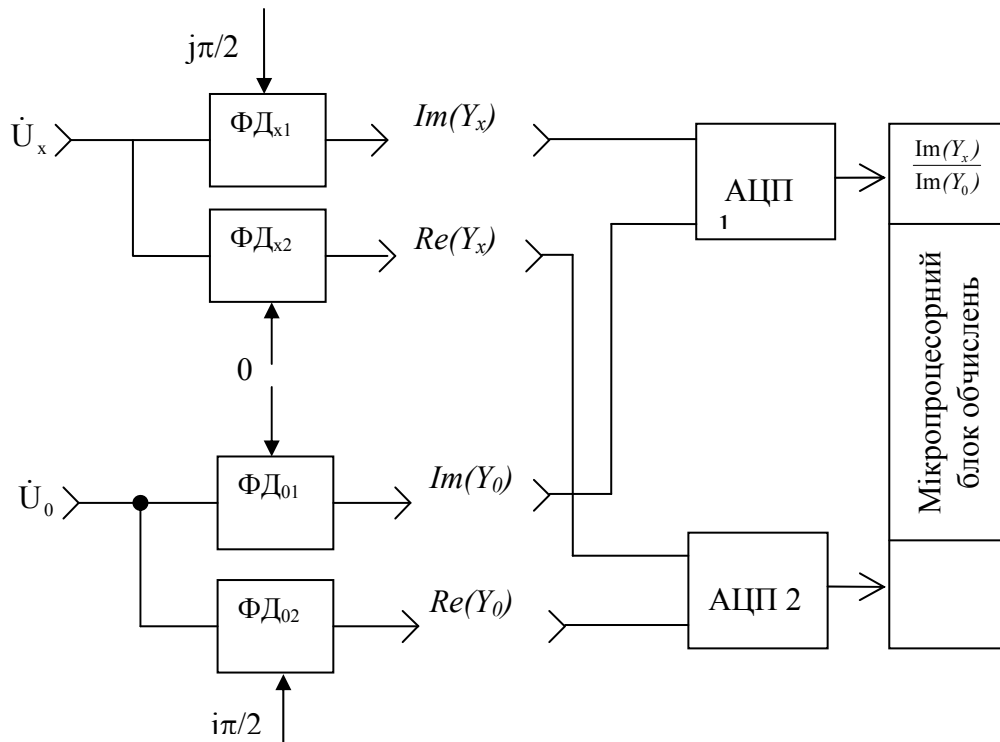


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювального перетворювача для порівняння активної та реактивної складових імітансу

В даній схемі  $Im(Y_x)$ ,  $Im(Y_0)$  – активні складові провідності досліджуваного та базового зразків продукції,  $Re(Y_x)$ ,  $Re(Y_0)$  – реактивні складові провідності досліджуваного та базового зразків продукції.

Врахування в результат вимірювання не лише активної, а й реактивної складової провідності дозволить підвищити ефективність досліджень, оскільки реактивна складова є більш чутливою до зміни вмісту мікроелементів у досліджуваному зразку [12].

**Висновки.** Застосування мікропроцесорних засобів при контролі якісних параметрів сільськогосподарської продукції є перспективним напрямком. Такі пристрої дозволяють здійснювати оперативний контроль якості, зберігати результати в пам'яті, здійснювати їх опрацювання, порівняння та статистичний аналіз. На основі порівняння електричних параметрів базового та досліджуваного зразка продукції можна судити про рівень її якості. Застосування саме чотиризатискачевої схеми вимірювань дозволить усунути вплив неінформативних параметрів на результати вимірювання та автоматизувати сам процес вимірювань.

## Список літератури

1. Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови вимірювачів імітансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук, Львів, 2004. – 40 с.
2. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества: Учеб. Пособие / И.Ф. Шишкин. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 342 с.
3. Походило Є.В. Імітансний контроль якості: Монографія / Є.В. Походило, П.Г. Столярчук. – Львів: Видавництво Нац. ун-тету «Львівська політехніка», 2012. – 164 с.
4. Stolyarchuk P., Yatsuk V., Pokhodylo Je., Mikhaleva M., Boyko T., Basalkevych O. Electric Sensors for express-method Checking of liquid quality level monitoring, Sensors and Transducers, Vol. 8, Special Issue, 2010, p. 88—98. (Столярчук П., Яцук В., Походило Є., Міхалева М., Бойко Т., Басалкевич О. Електричний сенсорний експрес-метод контролю рівня якості рідин // Сенсори і перетворювачі. — Т. 8. Спеціальне видання, 2010. – С. 88 - 98.
5. Походило Є. В. Вимірювачі CLR з перетворенням «імітанс-напруга»: монографія / Є. В. Походило, В. В. Хома. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 292 с.
6. Мартинович Н.В. Дослідження твердості питної води за параметрами адмітансу / Н.В. Мартинович, Є. В. Походило // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 4. – С. 37-42.
7. Герасим М.Р. Розвиток метрологічного забезпечення вимірювання електрофізичних параметрів об'єктів кваліметрії неелектричної природи: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Львів, 2014. – 20 с.
8. Плахтій, Н.Л. Ідентифікація автомобільних бензинів за параметрами імітансу: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Львів, 2012. – 21 с.
9. Мартинович, Н.В. Метод вимірювання твердості води за параметрами імітансу та його метрологічне забезпечення: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Львів, 2012. – 20 с.
10. Андреев В.С. Об электрических эквивалентных схемах емкостных преобразователей для измерения электропроводности бесконтактным методом / В.С. Андреев // Измерительная техника, 1971. – №8. – С. 80-82.
11. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник / Є.С. Поліщук. – Львів: Вид. Національного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 360 с.
12. Гонсьор О.Й. Вдосконалення нормативно-методичного забезпечення для оцінювання якості питного водопостачання: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Львів, 2008. – 20 с.

**Oksana Gonsor, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine*

### **Measuring transducer for the study of agricultural products impedance**

The objective of the work is to analyze the transmitter, designed for quality control of agricultural products at its electrical parameters (immittance)

In this article the method of control the quality parameters of agricultural products for its electrical parameters using the converter "immittance-voltage" is examined. An equivalent electric scheme electrolytic cell with the object of research is shows. Also the structural and electrical circuit transmitter that makes it possible to measure the active and reactive components immittance research object and compare them with relevant values of the base model are considered.

Conclusion: comparing the electrical parameters of the base and sample products can conclude its level of quality. Application is four-electrode measurement circuit will eliminate the often useless parameters influence on measurement results and automate the process of measurement.

**measuring transducer, quality control, electrical quality indicators immittance**

Одержано 11.11.12

УДК 658.26:504.064.36

**Л.В. Давиденко, канд. техн. наук, В.А. Давиденко, канд. техн. наук***Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна,**E-mail: L.Davydenko@mail.ru*

## Побудова інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання в системах комунального водопостачання

Визначено, що першим етапом моніторингу ефективності енергоспоживання є формування його інформаційного простору. Виконано формалізований опис суб'єктів моніторингу за допомогою сукупності атрибутів, які враховують їх функціональні особливості та рівень ієрархії водопостачальної системи. Розглянуто принципи об'єднання функціональних елементів-сутностей інформаційного простору та вхідних і вихідних даних предметної області. Запропоновано спосіб консолідації даних про суб'єкти моніторингу в єдиній інформаційній системі.

**ефективність енергоспоживання, моніторинг, система комунального водопостачання****Л.В. Давыденко, канд. техн. наук, В.А. Давыденко, канд. техн. наук***Луцкий национальный технический университет, г.Луцк, Украина***Построение информационного пространства для мониторинга эффективности энергопотребления в системах коммунального водоснабжения**

Определено, что первым этапом мониторинга эффективности энергопотребления является формирование его информационного пространства. Выполнено формализованное описание объектов мониторинга с помощью совокупности атрибутов, которые учитывают их функциональные особенности и уровень иерархии системы водоснабжения. Рассмотрены принципы объединения функциональных элементов-сущностей информационного пространства, входных и выходных данных предметной области. Предложен способ консолидации данных мониторинга в единой информационной системе.

**эффективность энергопотребления, мониторинг, система коммунального водоснабжения**

**Постановка проблеми.** Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії. Обліку та контролю споживання енергоресурсів на підприємствах приділяється багато уваги, тому питання побудови систем моніторингу технологічних процесів та обліку енергоспоживання в різних сферах не втрачають своєї актуальності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моніторинг трактують як систему заходів спостереження та контролювання, що проводяться для оцінювання стану об'єкту дослідження, аналізу процесів, що відбуваються, та своєчасного виявлення тенденцій його зміни. Раціональне управління енергогосподарством підприємства вимагає впровадження системи моніторингу показників енергоефективності окремих агрегатів, установок, виробничих процесів та підприємства в цілому [1]. Моніторинг енергоефективності виробничої системи повинен забезпечити визначення її стану та ефективності провадження технологічного процесу, створити передумови для удосконалення та підвищення якості функціонування системи та її складових, стати основою для розробки та реалізації методів керування та планування ефективного режиму роботи [2]. Основним принципом організації системи моніторингу є

безперервність пооб'єктного контролю та облік інформації для забезпечення контролю енергоспоживання та прийняття рішень щодо першочерговості впровадження заходів з енергозбереження, вирішення завдань енергетичного менеджменту. Це є інформаційно-управлінська система, яка на основі аналізу енергоспоживання покликана видавати енергоменеджеру повідомлення, що сприяють прийняттю управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності. Моніторинг є одним з елементів системи управління енергоспоживанням, особливості якої (цілі, завдання, об'єкти) зумовлюють додаткові вимоги до способу виконання моніторингу та системи показників енергоефективності. Створення інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання з урахуванням ієрархічності та багатооб'єктності підприємства є важливим завданням.

**Постановка завдання.** Під час проведення моніторингу виникає необхідність одержання інформації, репрезентативної щодо різних об'єктів, тому першим етапом моніторингу ефективності енергоспоживання в складних виробничих системах є:

- визначення меж моніторингу: агрегат, структурний елемент, технологічний процес, ієрархічний рівень, виробництво, підприємство;
- формування сукупності показників енергоефективності залежно від меж моніторингу та постановки задачі дослідження, які б відображали ефективність вихідного стану та особливості функціонування об'єкту [3];
- організація є процедур систематичного збору інформації щодо показників енергоефективності з урахуванням їх приналежності до об'єкту.

**Виклад основного матеріалу.** Моніторинг енергоефективності – одна з функцій енергетичного менеджменту, заснована на зборі інформації про об'єкт дослідження та спрямована на дотримання режимів енергоспоживання, встановлених значень енергетичних показників та виконання запланованих заходів. Це комплекс заходів для реалізації основних функцій: спостереження, оцінювання стану об'єкту, прогнозування та контролювання, конкретизованих специфікою об'єкту дослідження та поставленими задачами. Це певним чином організований інструмент інформаційного забезпечення управління енергоспоживанням для контролювання, оцінювання, аналізування і прогнозування стану об'єкта управління на основі безперервного процесу збору, обробки, відображення інформації про енергоспоживання об'єкту дослідження та його показники енергоефективності.

Система комунального водопостачання (СКВ) складається з великої кількості елементів, що споживають певні види енергії для реалізації технологічного процесу, характеризуються певними вихідними умовами, знаходяться на різних ієрархічних рівнях і мають свої особливості функціонування. Це є складна динамічна система із чітко впорядкованою ієрархічною структурою, розгалуженою мережею взаємозв'язків між її елементами, яка розвивається в просторі та часі. Діяльність складної виробничої системи визначається технологічними процесами, які реалізують її суб'єкти відповідно до цільової спрямованості в рамках предметної області. Кожен суб'єкт має процедури-алгоритми розрахунку, результати яких використовуються в алгоритмах суб'єктів вищого ієрархічного рівня. Після завершення процедур управління та удосконалення відповідних технологічних процесів відбувається зміна стану предметної області, тобто підвищення рівня енергоефективності об'єкту дослідження. У цілому модель функціонування суб'єктів моніторингу ефективності енергоспоживання може бути представлена як сукупність таких компонентів: моделі об'єктів, що беруть участь в структурних зв'язках; моделі параметрів, що визначають результати функціонування суб'єктів; моделюючих алгоритмів, що встановлюють правила функціонування об'єктів і зміни значень їх параметрів. Така модель є динамічною і відображає не лише поточний стан об'єктів, але й зміну їх стану в часі.

У загальному розумінні процес водопостачання є процесом трансформації електроенергії електромеханічними засобами СКВ. Формально, це відображення [4]:

$$\Omega_B \xrightarrow{F_{BE}} \Omega_E, \quad (1)$$

де  $\Omega_B$  – множина моделей об'єктів водопостачання;

$\Omega_E$  – множина моделей енергоспоживання;

$F_{BE}$  – функціональне відображення моделей.

Множину моделей об'єктів водопостачання з їх зв'язками, що досліджуються, можна представити як ізоморфізм  $\Omega_B$  на деяку абстрактну множину  $\Psi_s$ :

$$\Psi_s = \langle \{M_s\}, P_1, P_2, \dots, P_n \rangle, \quad (2)$$

де  $\{M_s\}$  - множина моделей структурних елементів СКВ;

$P_1, P_2, \dots, P_n$  - предикати, що відображають наявність зв'язків між елементами.

Аналогічно, множину моделей енергоспоживання можна представити як ізоморфізм  $\Omega_E$  на деяку абстрактну множину  $\Psi_e$ , яку задають кортежем:

$$\Psi_e = \langle \{M_e\}, P_1, P_2, \dots, P_n \rangle, \quad (3)$$

де  $\{M_e\}$  - множина моделей електроспоживання структурних елементів СКВ;

З позицій вирішення задач декомпозиції, аналізу та синтезу [5], тобто перетворення  $\Psi_s \rightarrow \Psi_e$  між двома моделями, які відображають процес водопостачання ( $\Psi_s$ ) та електроспоживання ( $\Psi_e$ ), система комунального водопостачання як об'єкт енергоспоживання може бути представлена у вигляді кортежу:

$$S = \langle \Psi_s, \Psi_e, P_0(\Psi_s, \Psi_e) \rangle. \quad (4)$$

Для спрощення, систему розглядають як «чорний ящик». Тоді підмоделі  $\Psi_s$  та  $\Psi_e$  представимо як кортеж вхідних параметрів, відповідно, водопостачання  $x_s$  та електроспоживання  $x_e$ , аналогічно, вихідних сигналів  $y_s$  та  $y_e$ , зміни її стану  $z_s$  та  $z_e$ :

$$\Psi_s = \langle x_s, y_s, z_s \rangle; \quad (5)$$

$$\Psi_e = \langle y_s, x_e, y_e, z_e \rangle. \quad (6)$$

При спрощеному дослідженні СКВ як об'єкта енергоспоживання підмоделі  $\Psi_s$  доцільно представити у вигляді усереднених характеристик процесу водопостачання: в якості вхідних сигналів: сумарної номінальної продуктивності  $Q_{ном.}$  насосних станцій (НС), загальної кількості насосних агрегатів (НА)  $N_{вст.}$ , середнього тиску в мережі  $H_{сер.}$ , тощо; в якості вихідних сигналів: сумарних об'ємів води  $Q_{перек.}$ , що перекачані НС, сумарних втрат в мережі  $Q_{втр.}$ , витрат на власні потреби  $Q_{вл.потр.}$  тощо. Підмодель  $\Psi_e$  при такому розгляді може містити кортеж енергетичних показників: в якості вхідних енергетичних характеристик: сумарної встановленої потужності обладнання  $P_{вст.}$ , кількості працюючого обладнання  $N_{пр.}$ , число годин роботи основного технологічного обладнання  $T_{роб.}$ ; в якості вихідних сигналів: сумарного фактичного електроспоживання  $W_{спож.}$ , фактичного питомого електроспоживання  $w_{факт.}$  тощо.

Таким чином система комунального водопостачання є кортежем:

$$S = \left\langle \begin{array}{l} \langle Q_{ном}, N_{вст}, H_{сер}, Q_{перек}, Q_{втр}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст}, N_{пр}, T_{роб}, W_{спож}, w_{факт}, z_e \rangle, \\ P_0 \left( \begin{array}{l} \langle Q_{ном}, N_{вст}, H_{сер}, Q_{перек}, Q_{втр}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст}, N_{вст}, T_{роб}, W_{спож}, w_{факт}, z_e \rangle \end{array} \right) \end{array} \right\rangle. \quad (7)$$

Окремий ієрархічний рівень СКВ теж доцільно розглядати як складну систему з точки зору наявності достатньо великої кількості структурних елементів, між якими існують певні технологічні зв'язки та які об'єднані єдиною метою функціонування.

Так під час дослідженні СКВ на рівні другого підйому підмодель  $\Psi_e$  доцільно представити через характеристики процесу водоподачі для даного рівня: в якості вхідних сигналів: номінальної продуктивності  $Q_{ном.i}$  та кількості  $N_{вст.i}$  НА кожної НС, сумарної номінальної продуктивності  $Q_{\Sigma ном.}$  та загальної кількості  $N_{вст.}$  НА, середнього тиску в мережі  $H_{сер.}$ , тиску в трубопроводі кожної НС  $H_{сер.i}$  тощо; в якості вихідних сигналів: сумарних об'ємів води  $Q_{перек.}$ , що перекачані НС, об'ємів води  $Q_{перек.i}$ , що перекачані кожною НС, коефіцієнтів завантаження НА  $K_{зав.}$ , витрат на власні потреби  $Q_{вл.потр.}$  тощо. Підмодель  $\Psi_e$  може містити кортеж енергетичних показників: в якості вхідних енергетичних характеристик: встановленої потужності двигуна НА  $P_{вст.i}$ , кількості працюючого обладнання  $N_{пр.i}$  та число годин роботи НА  $T_{роб.i}$  кожної НС, сумарної встановленої потужності обладнання  $P_{вст.}$ , кількості працюючого обладнання  $N_{пр.}$ , число годин роботи основного технологічного обладнання  $T_{роб.}$  НС; в якості вихідних сигналів: сумарного електроспоживання  $W_{спож.}$ , електроспоживання кожної НС  $W_{спож.i}$ , фактичного питомого електроспоживання рівня  $w_{факт.}$  та кожної НС  $w_{факт.i}$  тощо. При чому доцільним є урахування зміни режиму роботи структурних елементів ієрархічного рівня в результаті дії зовнішніх та управляючих сигналів. Отже, ієрархічний рівень другого підйому як складна система є кортежем:

$$S = \left\langle \begin{array}{l} \langle Q_{ном_i}, Q_{\Sigma ном}, N_{вст_i}, N_{вст}, H_{сер_i}, H_{сер}, Q_{перек_i}, Q_{перек}, K_{зав}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст_i}, P_{вст}, \eta_i, N_{пр_i}, N_{пр}, T_{роб_i}, T_{роб}, W_{спож_i}, w_{факт_i}, w_{факт}, z_e \rangle, \\ P_0 \left( \begin{array}{l} \langle Q_{ном_i}, Q_{\Sigma ном}, N_{вст_i}, N_{вст}, H_{сер_i}, H_{сер}, Q_{перек_i}, Q_{перек}, K_{зав}, Q_{вл.потр}, z_e \rangle, \\ \langle P_{вст_i}, P_{вст}, \eta_i, N_{пр_i}, N_{пр}, T_{роб_i}, T_{роб}, W_{спож_i}, w_{факт_i}, w_{факт}, z_e \rangle \end{array} \right) \end{array} \right\rangle. \quad (8)$$

Для опису об'єктів нижчого рівня необхідним є детальне урахування їх технічних характеристик, зокрема, паспортних даних агрегатів, а також параметрів, що визначаються особливостями функціонування відповідних структурних елементів. Для водозабірних споруд такими параметрами є [3]: рівень води у водоймищі та водоприймальному колодязі, витрата води від кожної водозабірної споруди, тиск в напірному трубопроводі, перепад рівнів на сітках, які обертаються. Для насосних станцій: тиск в напірному трубопроводі, тиск в насосному агрегаті, витрата води по кожному напірному водоводу. Для станцій очищення та підготування води: витрата початкової води, каламутність початкової води, рівень рН початкової та обробленої води, тиск у повітродувних та компресорних установках, витрата води, що проходить через кожен освітлювач, втрати тиску у фільтрі, витрата води на промивання тощо.

Інформаційним простором моніторингу ефективності енергоспоживання в СКВ є спеціальним чином організована сукупність атрибутів (показників) її складових, які разом з кількісними та якісними значеннями (параметрами цих атрибутів) дозволяють відрізнити один суб'єкт від іншого. Побудова інформаційного простору передбачає формалізований опис суб'єктів за допомогою комплексу властивих для них якісних та кількісних показників шляхом використання певних прийомів опису [6].

Множина об'єктів предметної області інформаційного простору складається з множини процесів та множини їх компонентів. Будь-якому виду об'єкту відповідає певний набір властивостей – характеристик. В динаміці значення деяких характеристик змінюються й на кожний дискретний момент часу характеризують його стан. Множину властивостей об'єктів складає множина характеристик процесів та їх компонентів. Характеристиками процесів є часові та кількісні характеристики та ідентифікатори. Характеристиками компонентів процесів є ідентифікатори, технічні та експлуатаційні характеристики. Множиною відносин між об'єктами є структурні, функціональні та прагматичні відносини. Останні є елементом алгоритму інформаційного пошуку, вказують послідовність вибірки інформації для відповіді на запит користувача.

До об'єктів інформаційного простору віднесено суб'єкти предметної області, до яких застосовуються управлінські впливи з метою забезпечення їх ефективного функціонування та між якими проводиться обмін вхідними і вихідними даними. Суб'єктом предметної області є один з структуроутворюючих елементів, виділених за функціональною ознакою (насосний агрегат, насосна станція, ієрархічний рівень тощо), та однозначно описаний переліком параметрів, які відтворюють систему кількісних показників його вихідного стану, а також можуть бути використані для характеристики ефективності його функціонування. Кожен суб'єкт класифікується згідно з його типом (різновидом), ідентифікується переліком власних властивостей, а також має перелік суб'єктів, з яких він складається або входить згідно визначеної підпорядкованості та з якими встановлені відносини. Функціональний стан суб'єкта визначається переліком параметрів, які відтворюють кількісні показники його функціонування. Ці параметри класифікуються відповідно за їх типом, який передбачає різновид показника діяльності. Для кожного параметра встановлюється його приналежність до певного суб'єкта, поведінку якого він характеризує та чийм показником функціонування він є. Залежно від функціонального взаємозв'язку суб'єктів додатково визначаються інші суб'єкти, що мають відношення до даного параметру. В результаті для параметра встановлюється приналежність до первинного об'єкту, а також уточнюється його приналежність до інших об'єктів, які відображають особливості їх спільного функціонування. Кожен суб'єкт предметної області може бути однозначно описаним за допомогою системи кількісних та якісних показників, що й представляє собою її інформаційний простір моніторингу. Враховуючи постановку задачі моніторингу енергоефективності СКВ, кількісними атрибутами-характеристиками є технічні та технологічні параметри, енергетичні характеристики та показники енергоефективності об'єктів, які описують ефективність вихідного стану та організації режиму роботи об'єкту моніторингу.

Для аналізу енергоефективності необхідно використовувати багаторівневу систему показників, яка б забезпечувала можливість аналізування ефективності енерговикористання на різних ієрархічних рівнях СКВ; кількісної оцінки параметрів стану та вихідних умов функціонування; розкриття закономірностей використання енергії; контролювання енергоспоживання та дотримання оптимальних параметрів технологічного процесу; була основою для прогнозування електроспоживання. Перевагу слід надавати системі показників енергоефективності, яка всебічно

відображатиме [3] технічний стан, рівень енергоспоживання та ефективність організації технологічного процесу в СКВ, ієрархічного рівня та кожного структурного елемента.

До складу функціональних елементів-сутностей інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання входять: схеми, правила, алгоритми, варіанти розрахунків; результати виконання та контролю розрахунків; форми підготовки звітних документів. У результаті, всі вхідні і вихідні дані предметної області мають бути представлені у вигляді інформаційних блоків [6]:

- блок даних про об'єкти: призначений для опису стану суб'єктів; містить інформацію про суб'єкти процесу моніторингу ефективності енерговикористання;
- блок даних про параметри об'єктів: призначений для опису показників, що характеризуються наборами кількісних значень та відображають стан суб'єктів;
- блок даних про алгоритми розрахунків: призначений для опису схем розрахунків для формування значень розрахункових параметрів об'єктів - показників енергоефективності при виконанні розрахунків за різними методиками залежно від задачі моніторингу та ієрархічної приналежності об'єкта;
- блок даних про результати розрахунків: призначений для опису варіантів розрахунків для об'єктів предметної області і накопичення отриманих даних з метою подальшого їх використання при формуванні звітних документів;
- блок даних про форми звітних документів: призначений для підготовки і формування стандартних вихідних форм документів з результатами розрахунків.

Особливість формування інформаційного простору для моніторингу ефективності енергоспоживання водопостачальної системи зумовлена територіальною розгалуженістю та ієрархічною будовою самої системи - це наявність великої кількості різних потоків інформації про енергоспоживання, вихідний стан та режими роботи агрегатів, технологічних установок, структурних елементів тощо, що відображається через показники енергоефективності та параметри режиму.

Необхідною умовою забезпечення ефективної роботи складної виробничої системи є автоматизація процесу збору даних про параметри режимів роботи кожного з її структурних елементів та системи в цілому. Наявність автоматизованих систем управління спрощує збір та обробку інформації по кожному із суб'єктів предметної області. Їх підключення до мережі INTERNET забезпечить зв'язок між контрольними пунктами суб'єктів управління та центральним сервером підприємства, що дозволить здійснити консолідацію даних в єдиній системі. Для реалізації моніторингу ефективності енергоспоживання в СКВ на центральному сервері необхідно інсталиувати WEB-service (WS) Vodokanal, що дозволить в режимі реального часу здійснювати виконання процедур оброблення вихідної інформації, необхідної для аналізу ефективності енергоспоживання в системі та її об'єктів, створення баз даних, формування звітів, а також видачі керуючих впливів. Окрема увага повинна бути приділена моніторингу чинників зовнішнього середовища функціонування СКВ, що впливають на ефективність режиму енергоспоживання. Одним з таких чинників є водоспоживання. Організація режиму водопостачання повинна максимально близько відповідати режиму водоспоживання. WS Vodokanal повинен містити блок оброблення зовнішньої інформації щодо потреб споживачів у воді залежно від певних умов – технічних, соціальних, кліматичних. Інформація, накопичена в базах даних системи, є запорукою ефективного вирішення задач енергоменеджменту та підтримки ухвалення рішень по управлінню технологічним процесом та підвищенню енергоефективності.

**Висновки.** Процедура формування інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання повинна враховувати розгалужену ієрархічну структуру водопостачальної системи, зв'язки між технологічними процесами та їх

складовими, вплив зовнішнього середовища. Розподіл показників енергоефективності згідно ієрархічної приналежності суб'єктів предметної області забезпечує можливість отримання необхідної інформації згідно меж моніторингу. Безперервне фіксування значень параметрів режиму роботи, енергоспоживання, показників енергоефективності забезпечує формування статистичної бази даних, виявлення точок і меж зон підвищеного енергоспоживання, об'єктів, які потребують аналізу та оптимізації технологічного процесу, дозволяє відслідковувати часову еволюцію явищ (добові, сезонні, річні), оцінювати взаємну залежність контрольованих величин. Реалізація передачі інформаційних потоків між об'єктами предметної області та центральним сервером підприємства на базі Web-орієнтованих систем дозволить створити єдиний інформаційний простір та забезпечити можливість обробки інформації про параметри режимів та показники енергоефективності структурних елементів та системи водопостачання в цілому, видачі енергоменеджеру інформації в режимі реального часу, що сприятиме прийняттю дієвих управлінських рішень щодо впровадження заходів з енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності.

## Список літератури

1. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности / Т.Е. Троицкий-Марков, Д.В. Сенновский // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 4. – С. 34-39.
2. Давиденко Л.В. Функции энергетического мониторинга сложных производственных систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко, Н.В. Коменда, Н.В. Ярмольська // Вісник ХНТУСГ. Технічні науки. Випуск 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С.125-127.
3. Розен В.П. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. – 2010. – Вип. №4 (63). – С. 50-53..
4. Анпілогов П.І. Принципи створення автоматизованої системи експертної оцінки тарифів на послуги водопостачання та водовідведення / П.І. Анпілогов, В.М. Михайленко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. - №3. – С. 44-51.
5. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / Анфилатов В.С., Смельянов А.А., Кукушкин А.А.; Под ред. А.А. Смельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 268 с.
6. Борукаев З.Х. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. – 2007. – №1. – С.3-7.

**Liudmyla Davydenko, Ph.D. tech. sci., Volodymyr Davydenko, Ph.D. tech. sci.**

*Lytsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

### **Construction of the information space of energy consumption efficiency monitoring in municipal water supply systems**

During the monitoring it is necessary to get different information about objects depending on the depth of the research. This requires the formation of information space for energy consumption efficiency monitoring.

Municipal water supply system is considered to be a complex production system. Formation of the information space of monitoring has been proposed to perform taking into account different hierarchical levels. For this purpose, a formalized description of monitoring subjects with the help of set of attributes has been made. These attributes take into account their functional features and hierarchical level of the water supply system, as well as the effectiveness of the initial state and organization of the operating mode of objects. Principles of functional elements association as well as input and output data of the information space in information blocks have been considered. The method of data consolidation about the monitoring subjects in the single information system has been proposed.

Formation of the information space of monitoring energy consumption efficiency provides obtaining information about the objects of water supply systems, which is necessary for analysis of their energy efficiency.

**energy consumption efficiency, monitoring, municipal water supply system**

Одержано 15.11.15

УДК 620.9/621.311.243,245

**Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, О. П. Голик, доц., канд. техн. наук,  
А. А. Попок** *Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград,  
Україна,  
E-mail: zherom@ukr.net*

## Шляхи енергозбереження у комунально-побутовому господарстві України в світлі зростання тарифів та більш широкого запровадження відновлюваних джерел енергії

В статті проаналізовано сучасний рівень цін на комунальні послуги, стан українського комунально-побутового господарства, рівень його розвитку та проблеми. Обґрунтовано доцільність поєднання «класичних» заходів з енергозбереження із більш широким використанням відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової.

**енергозбереження, тарифи, комунально-побутове господарство, відновлювані джерела енергії, сонячні установки, вітрові установки**

**Р. В. Жесан, доц., канд. техн. наук, О. П. Голик, доц., канд. техн. наук, А. А. Попок**  
*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Пути энергосбережения в коммунально-бытовом хозяйстве Украины в свете возрастания тарифов и более широкого внедрения возобновляемых источников энергии**

В статье проанализирован современный уровень цен на коммунальные услуги, состояние украинского коммунально-бытового хозяйства, уровень его развития и проблемы. Обоснована целесообразность объединения «классических» мероприятий по энергосбережению с более широким применением возобновляемых источников энергии, в частности солнечной и ветровой.

**энергосбережение, тарифы, коммунально-бытовое хозяйство, возобновляемые источники энергии, солнечные установки, ветровые установки**

**Постановка проблеми.** З 1 квітня 2015 р. в Україні почали діяти нові тарифи на газ та тепло. Мінімальний тариф на газ для населення зріс із 1,2 грн. до 3,6 грн. за 1 м<sup>3</sup>. Така ціна діє на обсяг до 200 м<sup>3</sup> на місяць і лише в опалювальний сезон (з 1 жовтня по 30 квітня). Обсяг понад 200 м<sup>3</sup> на місяць, а також спожитий не в опалювальний сезон газ оплачується за ціною 7188 грн. за 1 тис. м<sup>3</sup> [1, 2]. До кінця 2015 р. тарифи на газ збільшаться майже вчетверо – на 280 %, а на тепло в півтора рази – на 66 %. Офіційних даних щодо нового графіку підвищення цін поки немає. Проте, міністр енергетики В. Демчишин наголосив, що тарифи зростатимуть поступово, а найближче подорожчання уже «не за горами». Загалом ціни підвищуватимуть протягом двох-трьох років і тарифи за цей час зростуть у 6-7 разів [3]. Середньозважений тариф на тепло для населення був піднятий на 71,8% – до 537,2 грн. за 1 Гкал (без ПДВ) [4]. У Києві перерахунок платіжки за листопад до площі квартири у багатоповерхівці показав тариф 16,91 грн./м<sup>2</sup> [5]. У регіонах ситуація ще складніша – в більшості з них жителі платять за опалення більше за киян. Так, у Дніпропетровську, в залежності від постачальника, ціна опалення 1 м<sup>2</sup> – 18,98-20,12 грн./м<sup>2</sup>, це на 18 % більше, ніж у Києві. У Одесі за обігрівання 1 м<sup>2</sup> платять 16,77-17,94 грн. У Харкові – 16,42 грн./м<sup>2</sup>. [5]. У провінційному Кіровограді тариф не гірший, ніж у містах мільйонниках – 18,30 грн./м<sup>2</sup> [6].

© Р. В. Жесан, О. П. Голик, А. А. Попок, 2016

1 вересня 2015 р. в Україні відбулося суттєве підвищення цін на електроенергію. Тарифи у середньому зросли до 62,8 коп. за 1 кВт·год, що на 23 % більше порівняно із тарифом, котрий діяв з 1 квітня. Відповідні зміни затверджені постановою № 220 Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 26 лютого 2015 р. Так, для населення, яке споживає до 100 кВт·год електроенергії на місяць (150 кВт·год – для сільської місцевості), у тому числі, яке проживає у будинках, обладнаних кухонними електроплитами, тариф підвищився на 25 % і становить 45,6 коп. за кВт·год. Вартість світла для населення, яке споживає 100-600 кВт·год. електроенергії на місяць збільшилася на 25 % і складає 78,9 коп. за кВт·год. Населення, яке споживає понад 600 кВт·год електроенергії на місяць тепер платитиме на 5 % більше – 147,9 коп. за кВт·год. [1]. Та й це – не межа... Точаться розмови про доведення вартості 1 кВт·год. до 3 грн. до березня 2017 р.

1 травня 2015 р. вже відбулося чергове суттєве підвищення тарифів на водопостачання та водовідведення (на 4-20 % [7]), а з 1 січня 2016 р. ці тарифи буде піднято ще в середньому на 5,6-10 %..

Зрозуміло, що зростання цін на комуналку у рази, при відсутності суттєвих підвищень доходів населення, спонукає до активного пошуку шляхів економії енергії у комунально-побутовому господарстві України. В пригоді тут можуть стати і «дідівські» методи енергозбереження, і більш широке застосування передових досягнень науки та промисловості, зокрема, й відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

**Аналіз останніх досліджень.** Питаннями застосування ВДЕ в енергетичному секторі економіки та у комунально-побутовому господарстві України займаються багато вітчизняних вчених. Найбільш значущі розробки за останні роки належать Г. І. Денисенку, С. П. Денисюку, А. Джумі, Л. М. Джумі, Д. Л. Дудюку, Б. Х. Драганову, В. В. Каплуноу, А. Є. Конеченкову, С. О. Кудрі, С. С. Мазепі, Н. М. Мхітаряну, В. Ф. Пащенкоу, С. П. Плешкову, А. В. Праховнику, А. К. Шидловському та ін. А питання енергозбереження відображалися протягом багатьох десятиліть у наукових працях переважної більшості вчених та практиків.

**Постановка завдання.** Метою роботи є аналіз стану вітчизняного комунально-побутового господарства України, виділення найбільш значущих на сьогодні для населення проблем, в світлі зростання тарифів, та розробка шляхів розв'язання цих проблем засобами енергозбереження й більш широкого застосування відновлюваних джерел енергії.

**Виклад основного матеріалу.** Знизити суми в рахунках за комунальні послуги не просто, але досить реально. Теоретично тут може стати у пригоді субсидія. За законом, оплата комунальних послуг не може перевищувати 15 % від сукупного доходу сім'ї (20 %, якщо у квартирі проживає одна людина). Держава в цьому році значно спростила порядок надання субсидій. Але на практиці субсидія допомагає далеко не всім. Так, вона покриває лише розрахований урядом «соціальний мінімум» споживання компослуг. За те, що спожито понад норму, доведеться сплатити сповна.

Проте, можна виділити багато способів для зниження витрат на комуналку без звернення по допомогу до держави. Щоправда, більшість із них вимагають певних капіталовкладень, які мають різні терміни окупності.

#### *1. Заміна ламп розжарювання на люмінесцентні або світлодіодні.*

Заміна ламп розжарювання на люмінесцентні або світлодіодні (LED-лампи) може окупитись вже у перший рік. Хоча сучасні енергозберігаючі лампи мають більш високу вартість (від 30 грн.), проте, забезпечують більш високий термін експлуатації (кілька тисяч годин) та значну економію споживання. Люмінесцентні лампи

забезпечують приблизно 5-кратну економію, а сучасні LED-лампи, в залежності від типів використовуваних світлодіодів, – 8-12-кратну. І це без зниження, а часто і з покращанням освітленості. Як показав особистий досвід одного з авторів статті, заміна ламп у основних світильниках квартири стає реально відчутною вже наприкінці першого місяця експлуатації.

#### *2. Перехід на двозонний тариф обліку електроенергії.*

Заміна лічильника електроенергії на двозонний (двотарифний) дозволяє споживачу з 23:00 до 07:00 сплачувати за спожиту електрику за половинним тарифом (18 коп./кВт·год. При споживанні до 100 кВт·год. на місяць та 32 коп./кВт·год. при споживанні 100-600 кВт·год. на місяць). Частина потужних споживачів (посудомийна та пральна машина, електроопалення, нагрівачі та ін.) можна запускати у нічний час. Щоправда, обленерго може штучно створювати масу проблем після звернення до нього із заявою про перехід на двозонний тариф – від повільної розробки проекту до вартості лічильника і робіт з його монтажу. Часто монополісти нав'язують конкретного виробника засобів обліку або, навіть, конкретну модель лічильника. Проте, пройшовши всі бюрократичні і технічні перепони, можна забезпечити приблизно 40 % економії коштів без зниження обсягів споживання. Найдешевші двозонні лічильники коштують 1-1,5 тис. грн.

*3. Встановлення бойлера та відмова від централізованого гарячого водопостачання.*

Сучасні бойлери дозволяють підігрівати воду вночі та зберігати її гарячою протягом дня. У випадку встановлення двотарифного електролічильника, підігрів 1 м<sup>3</sup> води обійдеться значно дешевше, ніж тариф на гаряче водопостачання. Вартість бойлера із встановленням на сьогодні стартує з 1,5-2 тис. грн. Термін окупності – близько 2 років.

*4. Заміна традиційних кранів із обертовою головкою на крани із вентилями та розсікачами води (аераторами).*

Кран із двома вентилями дозволяє краще регулювати напір, а правильно підібраний аератор зменшує витрати води за рахунок збільшення об'єму струменя. Експерти стверджують, що таким чином можна зекономити 10-40 % води, а капіталовкладення окупляться протягом 1-2 років.

#### *5. Заміна побутових електроприладів у квартирі на більш енергоощадні.*

З 2011 року кожний різновид побутової техніки має спеціальну Євронаклейку із позначенням класу енергоефективності від А до G. До класу А відносяться найбільш, а до класу G найменш економічні зразки техніки [8, 9]. В даний час директивою ЄС офіційно дозволено використовувати також позначення А+, А++ і А+++ для тих моделей, що мають покращені енергозберігаючі характеристики у порівнянні з технікою класу А: кожний знак «+» означає, що енергоефективність приблизно на 10 % вище. Зрозуміло, що побутова техніка класу А та вище має суттєвий недолік – більш високу вартість. Проте, досвід європейських споживачів доводить, що заплативши 1 раз більше, після цього весь життєвий цикл техніки платиш суттєво менше за спожиту нею енергію.

#### *6. Заміна старих вікон на металопластикові з подвійним склопакетом.*

Як показує практика, заміна вікон у квартирі призводить до зменшення втрат тепла до 25 %. Зрозуміло, що це – не найдешевший захід, проте, дуже ефективний. Вартість стандартного квартирної вікна становить 800-1200 грн., залежно від фірми-виробника та якості профілю. Термін окупності заходу – близько 1 року.

#### *7. Утеплення стін, підвалу і горища.*

Крізь не утеплені стіни, підвал і горище втрачається, за різними оцінками від

30 % до 55 % тепла [10]. Провівши утеплення будівельних конструкцій, реально зекономити 15-25 % теплової енергії або скоротити річне споживання енергії з 250-350 до 100-150 кВт·год. на 1 м<sup>2</sup> житлової площі [11, 12].

#### *8. Встановлення засобів контролю, обліку та регулюючої апаратури.*

Досить дієвим способом скорочення комунальних платежів є встановлення прибудинкового лічильника тепла та системи погодного регулювання. Звичайно, для індивідуального споживача витрати на ці засоби є надто великими, а от для багатоквартирних будинків, коли витрати розподіляються між усіма жителями, реалізація таких проектів дозволяє скоротити витрати тепла на 20-35 %. За оцінками експертів річна економія з кожної квартири може становити 2,5-3 тис. грн. і окупність складе до 2 років.

Високі результати економії дає встановлення у кожній квартирі індивідуального опалення, оскільки зникають втрати тепла при доставці його споживачу. Проте і затрати на таку тепло модернізацію в умовах кризи можуть виявитися непідйомними для багатьох сімей. У такому разі в нагоді може стати балансування системи опалення, монтаж у будинку тепlopункту і встановлення терморегуляторів на батареях у кожній квартирі.

Додаткову економію можуть забезпечити програматори (контролери) температури. Принцип їх дії полягає у раціональному споживанні енергії у різні проміжки часу: коли споживач удома, підтримується потрібна комфортна температура, а коли він відсутній і вночі – температура в приміщенні знижується до мінімально комфортної. Контролери можуть застосовуватись і з системами індивідуального опалення (як газовими, так і електричними), і з терморегуляторами батареї центрального опалення.

#### *9. Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).*

Двома найбільш доступними для практичного використання ВДЕ є сонячне випромінювання та вітер [10, 13-20].

Сонячні установки прийнято поділяти на електричні (ті, що перетворюють сонячне випромінювання в електричну енергію) та теплові (які виробляють теплоту для одержання гарячої води, опалення приміщень тощо). І перші, і другі можуть бути з успіхом використані у багатоквартирних будинках [13-17].

Найбільш поширеним є використання сонячного випромінювання для нагрівання води в системах опалення та гарячого водопостачання за допомогою сонячних колекторів. Їх підрозділяють на одноконтурні (прямі) і двоконтурні (непрямі). В одноконтурних системах циркулює вода, а в двоконтурних – теплоносій-антифриз. Цей теплоносій потрібний для того, щоб сонячна система теплопостачання могла використовуватись і в холодну пору року. Спочатку антифриз нагрівається в колекторі, а потім він нагріває воду через теплообмінник.

Найпростіші пласкі приймачі дозволяють збирати як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію, а відтак працювати як у сонячну, так і хмарну погоду. Основним елементом сонячної нагрівальної системи є колектор, у якому відбувається нагрівання рідини за рахунок сонячного випромінювання [21].

Системи зі штучною циркуляцією вигідні, оскільки для їх створення можна використовувати існуючі водонагрівальні системи, підключаючи до них приймач сонячного випромінювання і насос. Вадю цих систем є залежність від електроенергії, без якої вони не будуть працювати.

Сонячні колектори можуть застосовуватись не тільки для гарячого водопостачання і водяного опалення, а й для опалення повітряного [21, 22].

На сьогодні можливе використання як індивідуальних сонячних водо- та

повітронагрівачів (на зовнішніх стінах будинку, огороженнях балконів та лоджій), так і колективних або громадських, побудованих у складчину (як правило на дахах або прибудинковій території) [21-23]. Оскільки товщина сонячних модулів водяного та повітряного опалення не перевищує, як правило, 15 см, то, згідно містобудівних норм і правил, можливий монтаж таких модулів на фасад будівлі без будь-якого дозволу [22]. Установка такого модуля може бути прирівняна до проведення робіт з утеплення фасаду (наприклад, пінопластом або мінватою). Вартість і складність таких робіт приблизно дорівнює вартості робіт з утеплення фасаду, але може трохи змінюватися в залежності від складності до конкретного місці розташування (висотність будівлі, матеріал стін, складність фасаду будівлі та ін.). Теж саме стосується застосувань на дахах.

Крім того, набувають все більшого поширення колективні сонячні електростанції (геліоелектричні установки) [24-26]. Вони являють собою набори певним чином орієнтованих сонячних батарей [27], що перетворюють сонячне випромінювання у постійний струм, з якого за допомогою інверторів одержується струм змінний [28]. Отримана від таких сонячних електростанцій енергія використовується для живлення насосів та вентиляторів систем опалення і освітлення в нічний час під'їздів та прибудинкової території. А поєднання освітлювальних пристроїв із датчиками руху та реле часу примусить їх навіть у нічний час вмикатись тільки у разі необхідності.

Використання в умовах міської забудови вітроелектричних установок (ВЕУ) має, зрозуміло цілий ряд складнощів [29, 30]. З одного боку, встановлення ВЕУ між багатоповерховими будинками не ефективно через вітрове затінення. З іншого боку, розташування ВЕУ на дахах багатоповерхівок спричиняє до появи підвищених вимог щодо їх закріплення. Проте на сьогодні встановлена в Україні потужність ВЕУ складає 497 МВт. А до 2020 р. потужність вітчизняних ВЕУ повинна збільшитися в 5,5 разів – до 2280 МВт [31]. В останні роки з'явилася велика кількість вискоелективних ВЕУ. При цьому вартість одержуваної електроенергії цілком порівнянна з ціною електроенергії з мережі, а для деяких конструкцій ВЕУ вона навіть нижча. Це відкриває шлях до широкого застосування ВЕУ домогосподарствами як альтернативи традиційним джерелам енергії. У разі застосування колективної ВЕУ, її електроенергія використовується аналогічно енергії від геліоелектричних установок.

*9. Зміна ставлення до енергозбереження у власній свідомості та в свідомості оточуючих.*

Наша держава суттєво допомогла нам у реалізації даного способу економії. Коли тарифи прямують до світових рівнів, а доходи більшості громадян обмежені, не доводиться довго переконувати у необхідності енергозбереження. Проте, у підсвідомості окремих громадян ще міцно сидять радянські «копійчані» стереотипи. Змінивши своє ставлення до проблеми, слід допомогти у цьому сусідам.

**Висновок.** Проаналізувавши сучасний рівень цін на комунальні послуги, стан українського комунально-побутового господарства, рівень його розвитку та проблеми, можемо зробити висновок, що осучаснення галузі вимагає поєднання давно відомих методів енергозбереження із більш широким застосуванням ВДЕ, перш за все, сонця і вітру. У споживача з'являється зацікавленість і можливість самостійно регулювати свої витрати на опалення, водо- та електропостачання. Для забезпечення електроенергією можуть використовуватися сонячні установки, розміщені на даху будинку, на зовнішніх будівельних конструкціях чи прибудинковій території, та вітроустановки, розташовані на даху багатоквартирного будинку.

## Список літератури

1. Скичко О. Космічне подорожчання комуналки. Експерти розповіли, чи впораються українці з цінами на газ, тепло і світло: 28.02.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tsn.ua/groshi/kosmichne-podorozhchannya-komunalki-eksperti-rozpovili-chi-vporayutsya-ukrayinc-i-z-cinami-na-gaz-teplo-i-svitlo-412309.html>.
2. Газ для населення з 1 квітня подорожчає до 3,6 грн. за кубометр: 03.03.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ukr.lb.ua/news/2015/03/03/297369\\_gaz\\_naselelnya\\_z\\_1\\_kvitnya.html](http://ukr.lb.ua/news/2015/03/03/297369_gaz_naselelnya_z_1_kvitnya.html).
3. Пиріг В. До кінця року газ подорожчає на 280%, а тепло – на 66%: 18.02.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zaxid.net/news/showNews.do?do\\_kintsya\\_roku\\_gaz\\_podorozhchaye\\_n\\_a\\_280\\_a\\_teplo\\_na\\_66&objectId=1341183](http://zaxid.net/news/showNews.do?do_kintsya_roku_gaz_podorozhchaye_n_a_280_a_teplo_na_66&objectId=1341183).
4. Тепло для населення з квітня подорожчає на 72% // Українська правда: 03.03.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pravda.com.ua/news/2015/03/3/7060378/?attempt=1>.
5. Холодна вода подорожчає на 4-20% (Список водоканалів) // Сегодня: 26.03.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukr.segodaya.ua/economics/gkh/holodnaya-voda-podorozhaet-na-4-20-nkreku--603037.html>.
6. Украинцы в панике из-за счетов на тепло // Сегодня: 14.12.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.segodaya.ua/economics/enews/ukraincy-v-panike-iz-za-schetov-na-teplo-675167.html>
7. Як платити за тепло в Кіровограді // Точка доступу: 13.11.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dostyp.com.ua/novini/yak-platy-ty-za-teplo-v-kirovograd>
8. Энергосберегающая бытовая техника // Журнал «Ecoteco» №5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecoteco.ru/?id=42>
9. Энергосберегающая бытовая техника. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ingsvd.ru/main/saving/133-jenergoberegajushhaja-bytovaja-tekhnika.html>
10. Мхитарян Н. М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
11. Берестян А. Термомодернізація житла як спосіб заощадити на тарифах // ОСББ-inform. Інформаційний ресурс для співвласників багатоквартирних будинків: 23.10.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.osbb-inform.com.ua/2015/10/23/004/>
12. 7 порад, як заощадити на опаленні будинку // ECOTOWN: 09.01.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/7-porad-yak-zaoshchadyty-na-opalenni-budyнку/>
13. Голик О. П. Аналіз можливостей задоволення енергетичних потреб автономного споживача за рахунок відновлюваних джерел енергії / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Я. В. Степанова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – Вип. 25, Ч. II. – С. 155-161.
14. Жесан Р. В. До питання попереднього визначення кількості сонячної енергії при проектуванні систем енергопостачання з сонячними установками / Р. В. Жесан, В. О. Решетняк, О. П. Голик // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2007. – Вип. 19. – С. 100-106.
15. Голик О. П. Енергозабезпечення селянських (фермерських) господарств на основі сонячної енергії в умовах Кіровоградського регіону. / О. П. Голик, Р. В. Жесан, А. С. Краснюк // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2011. – Вип. 41, Ч. II. – С. 195-198.
16. Голик О. П. Розрахунок основних параметрів фотоелектричної системи для автоматизації енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону. / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Відновлювана енергетика ХХІ століття: Матеріали ІХ Міжнародної конференції. 15-19 вересня 2008 р., АР Крим, с. м. т. Миколаївка. – Київ: ТОВ «ВІОЛ ПРИНТ», 2008. – С. 111-113.
17. Голик О. П. Апаратна реалізація автоматизованої системи автономного енергопостачання / Голик О. П., Жесан Р. В., Волков І. В., Березюк І. А. // Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал. – 2012. – Вип. 3(67). – С. 203-209.
18. Голик О. П. Автоматизована система керування автономним енергопостачанням на основі комбінованих вітро-сонячних установок / Голик О. П., Жесан Р. В. // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 4. – С. 20-22.
19. Голик О. П. Методика визначення основних показників енергоефективності горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Науковий вісник національного

- університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 139. – С. 190-195.
20. Кондратець В. О. Теоретичне обґрунтування вибору типу вітродвигуна для фермерських та індивідуальних господарств / Кондратець В. О., Мацуй А. М., Жесан Р. В., Сербул О. М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2012. – Вип. 42, Ч. I. – С. 61-68.
  21. Солнечный коллектор. Виды и типы солнечных коллекторов // CHANDELLE.com.ua. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chanelle.com.ua/10.20.0.0.1.0.phtml>
  22. Солнечные воздушные коллекторы. СВК. Конструкция и применение // CHANDELLE.com.ua. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chanelle.com.ua/10.28.0.0.1.0.phtml>
  23. Романюк Л. На Закарпатті набувають популярності балконні електростанції // Старий Замок Паланок: 26.04.2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakarpattya.net.ua/News/60729-Na-Zakarpatti-nabuvaiut-populiarnosti-balkonni-elektrostantsii>
  24. Яковлева Н. У Полтаві встановили сонячні батареї на багатоповерхівці // ECOTOWN: 01.11.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/U-Poltavi-vstanovyly-sonyachni-batareyi-na-bahatopoverkhivtsi/>
  25. У Львові з'явилась багатоповерхівка з сонячними батареями // VGORODE.UA: Львов. Новости Львова. Коммуналка: 10.01.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lviv.vgorode.ua/news/kommunalka/247823-u-lvovi-ziavylas-bahatopoverkhivka-z-soniachnymi-batareiamy>
  26. Полтавську багатоповерхівку оснастили сонячними батареями // BizNews: Новости недвижимости Украины: 02.11.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.biznews.com.ua/poltavsku-bagatopoverhivku-osnastili-sonyachnimi-batareями/>
  27. Жесан Р. В. Взаємозв'язок між орієнтацією та ефективністю використання геліоприймачів у автоматизованих системах енергопостачання. / Р. В. Жесан, Є. П. Босов // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2004. – Вип. 14. – С. 339-345.
  28. Голик О. П., Жесан Р. В. Аналіз різновидів автономних інверторів з метою застосування в системах енергопостачання автономного споживача на основі відновлюваних джерел енергії. / Голик О. П., Жесан Р. В. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2007. – Вип. 18. – С. 266-270.
  29. Голик О. П. Розрахунок основних показників роботи горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону / Голик О. П., Жесан Р. В., Босов Є. П., Крепак Н. С. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2008. – Вип. 21. – С. 224-233.
  30. Голик О. П. Методика визначення основних показників енергоефективності горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача. / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 139. – С. 190-195.
  31. Рябошапка А. В Украине мощность альтернативных источников увеличится в 5,5 раз: 06.10.2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://oilreview.kiev.ua/2014/10/06/v-ukraine-moshhmost-alternativnykh-istochnikov-uvelichitsya-v-55-raz/>
  32. Гонта І., Гусак С. Про «сонячну систему» обігріву, повелителів вітрів і власників «холодильників» // ZN,UA. «Дзеркало тижня. Україна» №1: 16.01.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://gazeta.dt.ua/energy\\_market/pro-sonyachnu-sistemu-obigrivu-poveliteliv-vitriv-i-vlasnikiv-holodilnikiv-\\_html](http://gazeta.dt.ua/energy_market/pro-sonyachnu-sistemu-obigrivu-poveliteliv-vitriv-i-vlasnikiv-holodilnikiv-_html)

**Roman Zhesan, Assos. Prof., PhD tech. sci., Olena Golik, Assos. Prof., PhD tech. sci., Anastasiya Popok**  
*Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

### **Ways of energy-savings in the communal domestic economy of Ukraine in the light of growth of tariffs and more wide introduction of renewable energy sources**

The purpose of this article is to analyze the status of the Ukrainian communal domestic economy, selection of the most meaningful problems for today for the population, in the light of tariffs growth, and development of measures in decision of these problems facilities of energy-savings and wider introduction of renewable energy sources.

In the article the modern standard of prices was analyzed on communal services, status of the Ukrainian communal domestic economy, level of its development and problem. Expedience the association of «classic»

events is grounded on an energy-savings with the more wide use of renewable energy, in particular sun and wind sources. Authors are select 10 directions of decision of problems.

Practical recommendations are given about application of organizational and technical facilities. The estimations of the expected economic effect were done from the offered measures.

**energy-savings, tariffs, communal domestic economy, renewable energy sources, solar plants, wind plants**

Одержано 21.12.15

**УДК 681.5**

**В. В. Івашук, доц., канд. техн. наук, А. П. Ладанюк, проф., д-р техн. наук**

*Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна,*

*E-mail: ivaschuk99@mail.ru*

## **Мінімізація втрат енергії під час реалізації змін продуктового асортименту**

В статті приведено методика оцінювання помилок при керуванні об'єктом з несприятливими динамічними характеристиками, під час зміни завдання.

Практично доведено необхідність у здійсненні супроводження процесу керування в режимі зміни завдання та обґрунтовано концепцію керування об'єктом для мінімізації енергетичних витрат при роботі з асортиментним продуктом.

**зміна завдання, якість керування, асортимент, супроводження**

**В. В. Івашук, доц., канд. техн. наук, А. П. Ладанюк, проф., д-р техн. наук**

*Національний університет пищевых технологий, г. Киев, Украина*

**Минимизация потерь энергии при реализации изменений продуктового ассортимента**

В статье приведена методика оценки ошибок при управлении объектом с неблагоприятными динамическими характеристиками, при изменении задания.

Практически доказана необходимость в осуществлении сопровождения процесса управления в режиме изменения задания и обоснована концепция управления объектом для минимизации энергетических затрат при работе с ассортиментным продуктом.

**изменение задания, качество управления, ассортимент, сопровождение**

**Постановка проблеми.** В умовах зміни асортименту неперервних та неперевно-періодичних процесів харчових виробництв відбуваються зміни характеристик технологічних агрегатів, як об'єктів автоматизації. Таким чином, стаціонарно налаштована система не в змозі запропонувати якісне керування технологічним об'єктом. В свою чергу, завдяки наявності теплообмінних процесів, що часто відбуваються опосередковано, за рахунок технологічних середовищ та проміжних теплових агентів (пари, технологічні води з рециркуляції, газу пічної камери), завдяки чому вплив технологічних змінних об'єкта на параметри стану характеризується значними сталими часу, а при розвинутій мережі технологічних трубопроводів, - транспортним запізненням. Внаслідок зазначених особливостей класичні системи керування призводять до втрат в якості продукції, - у випадку використання автоматизованих ділянок із залученням людини оператора, або ж виявляються зовсім непрацеспроможними у випадку автоматичного керування.

© В. В. Івашук, А. П. Ладанюк, 2016

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи, що типово залучені для обслуговування подібних завдань для процесів періодичної дії, що пропонують мінімізацію допоміжних робіт з обслуговування та експлуатації, являють, в даному випадку, приймають більш складний характер. Так, часткова лінеаризація по діапазону варіювання цільових координат призводить до суттєвого збільшення розмірності задачі [1,2], що вимагає врахування втрат під час реалізації керуючих дій на об'єкт. Інші роботи намагаються поєднати використання лінеаризації та теорії диференціальних ігор [3], що призначена для вибору найкращого з можливих розв'язків ситуації, що визначається мінімальним набором варіантів. Застосування каскадного керування для багатоасортиментних систем реалізується, в основному, з використанням асимптотичних спостерігачів, що вимагають контуру спостереження за відгуком об'єкта керування [4], що у випадку зазначених вище, несприятливих характеристик об'єкта не гарантують стійкості системи керування.

Методами, що можуть отримати практичне застосування є супроводження координат стану об'єкта або параметрів системи керування. Реалізовані в практиці супроводження координат стану вектором технологічних параметрів [5], за універсалізацію пристосування до множини продуктів та простоті експлуатації, втрачають в характеристиках процесу керування.

Зазначені втрати якості характеристик керування, в промислових масштабах об'єкта, неодмінно призводять до відчутних, в собівартості продукту, технологічних та енергетичних втрат [6]. Обмежений інформаційний базис технологічної ділянки, що не характеризується багатостадійністю процесів, важко забезпечити застосуванням каскадних систем керування через відсутність методів актуального контролю параметрів технологічного середовища. Прикладом є сушіння молочних продуктів в колонній сушарці, випарювання неньютонівських рідин, випікання хлібобулочних виробів.

Особливості об'єктів харчової промисловості часто вимагають реалізації керування розімкненого типу, без застосування оперативної оцінки реакції об'єкта. Переважна кількість об'єктів ставлять під сумнів ефективність керування у випадку застосування пошукових методів. Наявність рециркулюючих технологічних потоків збільшує вплив збурень та дрейф прийнятих характеристик об'єкта, що призводить до втрати якості керування локальних систем, які практично реалізовані на об'єктах.

**Постановка завдання.** Забезпечення часткових розв'язків задачі керування об'єктами із несприятливими для керування динамічними характеристиками. Є необхідність у залученні методів оцінки втрат енергії в процесі керування неперервними та неперервно-дискретними технологічними комплексами. Актуальним завданням під час зміни мети керування є забезпечення мінімальної траєкторії сходження координат стану до регламентованих для нового продукту, що має позитивно позначитися на витратах ресурсів виробництва. Так, загальним завданням роботи є формалізація методу мінімізації втрат енергії під час зміни асортименту.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкти неперервного та неперервно-дискретного типу характеризуються складністю, що обумовлюється відсутністю багатостадійності фізичних процесів перетворення характеристик продуктів, що свідчить про відсутність спостережності для синтезу керуючих діянь. Оскільки до розгляду пропонуються об'єкти, де поділ на стадії непередбачений конструкцією технологічних агрегатів, а влаштування додаткових точок контролю ускладнюється умовами фізичного процесу та відсутністю надійних інструментальних методів контролю, то є всі підстави до розширення інформаційного базису, шляхом залучення до аналізу неврахованих характеристик технологічних потоків, через групу змінних

попереднього процесу, що входять до функції непрямих вимірювань. Останнє призводить до збільшення розмірності задачі, що дає підстави для зменшення кола підцілей реалізації керування, оскільки в переважній більшості практичних завдань досить мати субоптимальне рішення, тобто рішення з певною точністю виконання завдання керування за діючих збурень, що належать до обмеженого, наперед визначеного діапазону.

В нашому випадку існує дві стратегічні цілі:

- синтез керування, що належить допустимій множині керуючих впливів, що мінімізує визначений функціонал при найменш сприятливому збігу обставин (значень параметрів, збурень) і забезпечує переведення системи з початкового стану відповідно заданої множини під цілей;
- мінімізація втрат енергії під час перехідного процесу при реалізації керування.

Множину координат  $\bar{x} \subset A$  об'єкта, що забезпечує зміну характеристик продукту  $g_n$ , можна розглядати як множину диференціальних величин  $\partial A$ , що характеризують різницю між продуктами та між параметрами об'єкта керування, відповідно  $g_1 = f(\bar{x}_1)$ .

Для синтезу керування обираються лише ненульові диференціальні параметри стану об'єкта, синтез моделі для яких є необхідним

$$A = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{i1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1j} & \cdots & x_{ij} \end{pmatrix}, x_{ij} \in R, B = \partial A, \dim A = \dim B, \emptyset \subset B \quad (1)$$

Кожна величина, що входить до обраної ненульової диференціальної множини, спричинює зміну корельованих змінних, що пов'язані фізичними явищами процесу та мають бути включені в модель керування, якщо спричинюють зміну

$$\forall x \in \bar{x}_n, \text{var } x \rightarrow \text{var } g_n \quad (2)$$

регламентованих для продукту характеристик  $g_n$  технологічного середовища на величину, що є за регламентом продукту критичною  $\Delta g_{n \max}$ .

Таким чином, модель являє собою повне, спостережне, для регламентованих характеристик продукту  $g_n$ , представлення.

При відсутності математичної моделі в класичному випадку системи керування, оцінки якості керування здійснюються шляхом порівняння  $\Delta x = \tilde{x} - x_z$  керованої величини  $\tilde{x}$  із цільовою, що встановлена регламентом  $x_z$ . Але у випадку зміни завдання, зміна керуючих потоків  $u_i$  відбувається в межах, що встановлюються характеристиками об'єкта, а саме автокореляційною функцією  $acorr(u)$ , що окреслює максимальну швидкість спаду функції джерела, та сталою часу за каналом керування  $\tau_{ui}$ , що обмежує максимальну зміну цільової координати аргументом функції, що визначає процес.

$$acorr(u) \rightarrow \overline{\lim_{t \rightarrow \infty} dy/dt} = \frac{\tau_{ui}}{k} \lim_{t \rightarrow \infty} du^2/dt + u_0 \quad (3)$$

Так, класичний інтегральний критерій встановлює лише відносну якість керування, яка визначається

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta x = \int_{\tau_1}^{\tau_2} x_r - \int_{\tau_1}^{\tau_2} \tilde{x} + c, \tag{4}$$

де  $c$  - помилка керування, яка обмежується вище згаданими характеристиками об'єкта та корегується відновленням за моделлю об'єкта значенням координати  $x_r$ , з числа корельованих з характеристикою продукту  $g_n$ .

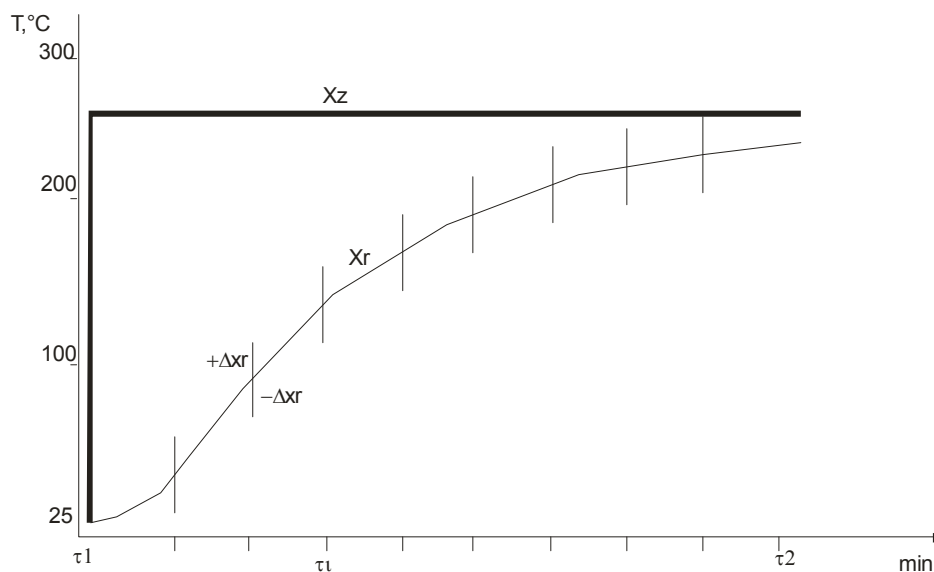


Рисунок 1– Реальна оцінка помилки керування, супроводжуваної моделлю

То ж у випадку використання для асимптотичного наближення інтегрального критерію будуть накопичуватись динамічні помилки керування, як середнє арифметичне на множині значень з діапазону керування  $\tau_1 - \tau_2$ .

У випадку супроводження математичною моделлю, що для задачі мінімізації енергетичних витрат вимагає складання теплового та матеріального балансу, можемо оцінювати якість керування за кожний крок  $\tau^i$ , виключаючи накопичення помилки в інтегральному критерії (Рис.1).

Оцінювання енергетичних втрат відбувається за різницею, розрахованого за регламентом  $x_r - \tilde{x}$  та за матеріальним, тепловим балансом споживанням  $\tilde{x}$ , відповідно.

Задача ж мінімізації втрат передбачає мінімізацію ресурсів керування, в межах, що мінімально задовольняють потреби керування. Так, для забезпечення мінімізації по множині обраних показників  $g_n$  достатньою умовою буде

$$\bar{Q}_r = \bar{Q}, \bar{Q} = \partial \bar{F} \times \partial \bar{T}, \tag{5}$$

де

$$\partial \bar{F} = (\partial F_1, \dots, \partial F_i), \partial F_i = F_{ri} - \text{var } F_i(\Delta x_r), \tag{6}$$

де  $\bar{Q}_r$  - регламентовані теплові затрати, що оцінюювані за моделлю. У виразі (6) через представлення тепло- та масообмінних процесів в якості  $\Delta x_r$ , виступає значення температури оцінюваного середовища.

**Висновки.** Реалізація приведеної концепції оцінки якості керування при зміні завдання дозволить ефективніше за класичні алгоритми керування здійснювати керування координатами багато продуктового виробництва. Мінімізація витрат через супроводження продуктів за моделлю об'єкта реалізує адекватні витрати при зміні та веденні технологічного виробництва в масштабах виробничої лінії. Використання моделей в контурі керування має забезпечити узгодження мінімальних кроків при зміні технології продукту, мінімізувати помилки при керуванні технологічними об'єктами з несприятливими, для реалізації керування, динамічними характеристиками. Подальше використання непрямих залежностей та багатомірного керування змінними технологічного об'єкта, через збільшення інформаційного базису, сприятиме упередженню аварій, що призводять до блокування виробничої лінії.

## Список літератури

1. Доля В.Г. Адаптивна оптимізація процесів керування неперервним виробництвом (на прикладі нафтопереробного заводу): дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Віктор Гнатович Доля. – К. – 1995. – 196с.
2. Система комплексної автоматизації технологічних процесів багатoproфільного виробництва: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.07 [Електронний ресурс] / В.Я. Новіков; Донец. держ. техн. ун-т. – Донецьк, 1999. – 17 с.
3. Окунькова Е.В. Гарантирующее управление нелинейными объектами (на примере тяжеловодного ядерного реактора) 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации, дис. канд. техн. наук. – Москва. – 2014. – 129с.
4. Хобин, В.А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения / В. А. Хобин. - О. : ТЭС, 2008. - 306 с.
5. Villani E Modelling and analysis of hybrid supervisory systems : a petri net approach. - (Advances in industrial control) / E. Villani, P. E. Miyagi, R. Valette. - U.K.: Springer-Verlag London Limited, 2007. – 238pp.
6. Рогачов Олександр Іванович. Енергозберігаючі управління нестационарними режимами технологічних процесів: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.07 / Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". – Х., 2005. – 30с.

**Ivaschuk Vjacheslav, Assos. Prof., PhD tech. sci., Anatolii Ladaniuk, Prof., DSc.**

*National university of food technologies, Kiev, Ukraine*

### **Minimize energy losses for implementation of changes of product range**

The article describes the method of estimating errors for control of object which have poor dynamical characteristics, for a change of control tasks.

Practically proved the need for the implementation of support of process control in the mode of change of tasks and proved the concept of facility control to minimize energy consumption when using the assortment of product. Implement control, which assign variables of the object, which had been involved in the creation of a technological mode for function, which had associated with observed variables. Using models in circuit of control will have ensure coordination for the minimum steps when changing product technology, to minimize mistakes while guiding technological objects, which have adverse dynamical characteristics for implementation of control.

So, further use of indirect dependencies and multivariable control of process variables of object, by increasing the informational basis, will contribute to prevention of accident, which are lead to blockage of the production line..

**change of decision, quality of control, assortment, guidance**

Одержано 10.11.15

УДК 621.565:628.165

**В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, І.О. Переверзєв, доц., канд. техн. наук, Н.В. Ковальчук, викл.***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,  
E-mail: klymvas@ukr.net*

## Підвищення енергоефективності концентрування водних розчинів виморожуванням

Підвищення ефективності техніки та процесів концентрування водних розчинів виморожуванням, зокрема шляхом зменшення енерговитрат, є важливим і актуальним. Ціль досліджень даної роботи – підвищити енергоефективність способу концентрування водних розчинів виморожуванням при застосуванні газоподібного холодоагенту (ГПХ). В роботі визначена функціональна залежність енерговитрат на концентрування водних розчинів виморожуванням із застосуванням ГПХ від величини тиску в установці концентрування та визначений оптимум (мінімум) функції такої залежності. При підвищених тисках газоподібного холодоагенту (повітря) в області значень  $0,2 \text{ МПа} \leq P \leq 0,5 \text{ МПа}$  енерговитрати в установці концентрування водного розчину виморожуванням мінімальні та менші, ніж при атмосферному тиску в  $1,6 \div 1,8$  рази.

**концентрування водних розчинів, енерговитрати, холодоагент, сепарація льоду, виморожування****В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, И.А. Переверзев, доц., канд. техн. наук, Н.В. Ковальчук, викл.***Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

### **Повышение энергоэффективности концентрирования водных растворов вымораживанием**

Повышение эффективности техники и процессов концентрирования водных растворов вымораживанием, в частности путем уменьшения энергозатрат, является важным и актуальным. Цель исследований данной работы – повышение энергоэффективности метода концентрирования водных растворов вымораживанием при использовании газообразного хладагента (ГОХ). В работе определена функциональная зависимость энергозатрат на концентрирование водных растворов вымораживанием с применением ГОХ от величины давления в установке концентрирования и найден оптимум (минимум) функции такой зависимости. При повышенных давлениях газообразного хладагента (воздуха) в области значений  $0,2 \text{ МПа} \leq P \leq 0,5 \text{ МПа}$  энергозатраты в установке концентрирования водного раствора вымораживанием минимальные и меньше, чем при атмосферном давлении в  $1,6 \div 1,8$  раз.

**концентрирование водных растворов, энергозатраты, хладагент, сепарация льда, вымораживание**

**Постановка проблеми.** В техніці концентрування водних розчинів та водоочистки найбільші труднощі викликає видалення іонних домішок, до яких відносяться і речовини, що обумовлюють ступінь мінералізації води.

Метод концентрування і очистки водних розчинів, стічних вод виморожуванням перспективний не тільки для видалення мінеральних домішок, а і цілого ряду органічних забруднень, що знаходяться в молекулярно - розчинному стані. Тому підвищення ефективності техніки та процесів концентрування водних розчинів виморожуванням, зокрема шляхом зменшення енерговитрат, є важливим і актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо декілька способів концентрування водних розчинів виморожуванням, що включають попереднє охолодження рідини потоками прісної води та концентрату, утворення кристалів льоду і концентратів при контактуванні з холодоагентом, сепарацію льоду від концентрату, промивку та плавлення льоду [1].

© В.В. Клименко, І.О. Переверзєв, Н.В. Ковальчук, 2016

Недоліком таких способів концентрування рідин є відносно низька якість отриманої прісної води та концентрату через наявність в них домішок речовин, що застосовуються в якості контактуючих з рідиною холодоагентів (пропан, бутан та ін.) обумовлених їх розчинністю у потоках прісної води та концентрату. Винесення вказаних речовин не тільки погіршує якість прісної води та концентрату, підвищує їх собівартість, але і негативно впливає на довкілля.

Для очистки дренажних, шахтних, кар'єрних і промислових вод, що скидаються, які забруднені змученими речовинами, бактеріальними домішками, мінеральними солями, в тому числі, на основі важких металів пропонується спосіб, який полягає у виморожуванні прісної води при контакті мінералізованої води з холодним повітрям [2]. Процес виморожування ведуть у циркуляційно-проточному вертикально встановленому апараті (льодогенераторі) колонного типу, заповненому насадкою із твердих тіл різної форми: зверху апарату подають мінералізовану воду, а знизу холодне повітря із мінусовою температурою. Але енерговитрати на реалізацію такого способу значно вищі, ніж при виморожуванні шляхом прямого контактування з холодоагентом, що випаровується в процесі контакту.

Для концентрування рідин виморожуванням з метою виділення розчинених речовин при евтектичних параметрах відомо спосіб, що включає охолодження і подачу холодоагенту в газоподібному стані, контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду та концентрованої рідини (концентрату), сепарацію, промивку та плавлення льоду [3]. Недоліком такого способу, що здійснюється при атмосферному тиску, є підвищені витрати енергії (50...100 кВт-год/т води), визначені перш за все суттєвими енергозатратами на переміщення газоподібного холодоагенту, що контактує з розчином.

**Постановка завдання.** Ціль досліджень даної роботи – підвищити енергоефективність концентрування водних розчинів виморожуванням при застосуванні газоподібного холодоагенту (ГПХ). Попередній аналіз показав, що величина енергозатрат такого способу суттєво залежить від тиску, при якому здійснюється циркуляція ГПХ в контурі установки концентрування розчину.

Для досягнення поставленої цілі потрібно з'ясувати залежність енерговитрат на концентрування водних розчинів виморожуванням із застосуванням ГПХ від величини тиску в установці концентрування та визначити оптимум (мінімум) функції такої залежності.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо спосіб концентрування рідин виморожуванням з метою виділення розчинених речовин при евтектичних параметрах аналогічним способом [3], але який передбачає можливість здійснення процесу виморожування при тисках газоподібного холодоагенту (повітря) більше атмосферного [4]. Блок-схема установки, в якій може здійснюватися такий спосіб, надано на рис.1.

Установка працює наступним чином: початкова рідина попередньо охолоджується в теплообміннику 1 холодними потоками концентрату та прісної води, що виходять з установки, змішується з рідиною, що рециркулює, а суміш поступає в кристалізатор-виморожувач (Кр-Вм) 2.

В Кр-Вм, де підтримується тиск вище атмосферного, подається також охолоджений в холодильній машині 4 газоподібний холодоагент, циркуляція якого здійснюється за допомогою вентилятора 3. При контакті холодоагенту із сумішшю вхідної рідини та рідини, що рециркулює, відбувається її охолодження з утворенням кристалів льоду та відповідним підвищенням концентрації рідини.

Потім кристали льоду сепаруються від концентрату, промиваються та плавляться з утворенням прісної води (на схемі не показано), а концентрат ділиться на

дві частини – більша частина повертається на рециркуляцію (на схемі не показано), а менша через теплообмінник 1 виводиться з установки. Так як з Кр-Вм буде постійно виноситись частина газоподібного холодоагенту потоками концентрату та прісної води, що виходять, то для підтримання необхідного тиску буде потрібно поповнювати газоподібний холодоагент в еквівалентній кількості за допомогою пристрою 5 (компресор).

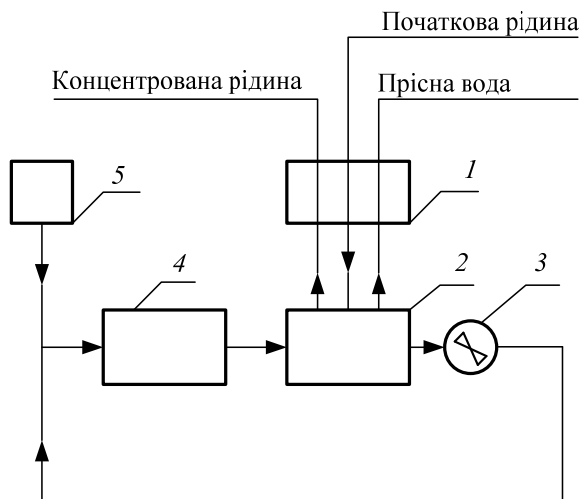


Рисунок 1 – Блок- схема установки для концентрування водних розчинів виморожуванням

Загальні енерговитрати в такій установці можна визначити як:

Загальні енерговитрати в такій установці можна визначити як:

$$L = L_x + L_b + L_{п} + L_n,$$

де  $L_x$  – енерговитрати в холодильній машині;

$L_b$  – енерговитрати на переміщення (циркуляцію) ГПХ (повітря);

$L_{п}$  – енерговитрати на поповнення ГПХ внаслідок його втрат з потоками прісної води та концентрату, що виводяться з установки;

$L_n$  – енерговитрати на привід насосів.

Можна вважати, що для певного ступеня концентрування  $L_x$  та  $L_n$  не залежать від величини тиску ГПХ [4].

Разом з тим енергетичні затрати на переміщення газоподібного холодоагенту, наприклад, повітря, в припущенні, що конструкція та розміри апаратів установки незмінні, а масова витрата повітря при різних тисках постійна, з підвищенням тиску будуть зменшуватися.

Покажемо, що при незмінній продуктивності апаратів та при постійному значенні їх гідродинамічних та тепло-масообмінних характеристик, які визначаються критерієм Рейнольдса  $Re$ , це дійсно так.

Першою причиною, що викликає зменшення енергозатрат на переміщення газоподібного холодоагенту при вказаних обмеженнях, є зменшення втрат тиску при його підвищенні:

$$\Delta P_p = \Delta P_{01} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} = \Delta P_{01} \frac{P_{01}}{P_p}, \quad (1)$$

де  $\Delta P_p$  – втрати тиску при тиску  $P$  ( $P > P_{01}$ );

$\Delta P_{01}$  – втрати тиску при атмосферному тиску  $P_{01}$ ;

$\rho_p$  і  $\rho_{01}$  – відповідно густина газоподібного холодоагенту при  $P$  та  $P_{01}$ .

Дійсно, при умові рівності критеріїв  $Re_p$  при тиску  $P$  та  $Re_{01}$  при атмосферному тиску  $P_{01}$  впливає:

$$\frac{W_p \rho_p l}{\mu_p} = \frac{W_{01} \rho_{01} l}{\mu_{01}}, \quad (2)$$

де  $W_p$  і  $W_{01}$  – швидкість переміщення газоподібного холодоагенту при тисках  $P$  та  $P_{01}$  відповідно;

$l$  – визначальний розмір (гідравлічний діаметр), величина постійна при прийнятих допущеннях;

$\mu_p$  і  $\mu_{01}$  – коефіцієнти динамічної в'язкості газоподібного холодоагенту при тисках  $P$  та  $P_{01}$  відповідно.

Для газоподібних холодоагентів  $\mu$  практично не змінюється в інтервалі тисків  $0,1 \div 2,5$  МПа. Наприклад, для повітря з температурою  $t = -23^\circ\text{C}$  при  $P_{01} = 0,1$  МПа  $\mu_{01} = 159 \cdot 10^{-7}$  Па·С; а при  $P_1 = 1$  МПа  $\mu_{01} = 161,2 \cdot 10^{-7}$  Па·С,  $P_2 = 2$  МПа  $\mu_2 = 163,2 \cdot 10^{-7}$  Па·С [5].

Прийнявши  $\mu_p = \mu_{01}$  з (2) отримуємо:

$$W_p = W_{01} \frac{\rho_{01}}{\rho_p}. \quad (3)$$

Так як ГПХ, наприклад, повітря, при невеликих тисках практично веде себе як ідеальний газ, то:

$$\frac{\rho_p}{\rho_{01}} = \frac{P_p}{P_{01}}. \quad (4)$$

Втрати тиску, що визначаються гідравлічним опором, можна розрахувати за формулою [6]:

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho W^2}{2g}, \quad (5)$$

де  $L_i$  – довжина шляху переміщення повітря;

$\lambda_i$  – коефіцієнт опору тертя по довжині;

$\xi_i$  – коефіцієнт місцевого опору;

$l_i$  – гідравлічний діаметр.

Коефіцієнти  $\lambda_i$  та  $\xi_i$  залежать для обумовлених умов тільки від  $Re$ , тому при рівних  $Re_p$  та  $Re_{01}$  будуть рівні відповідні значення  $\lambda_i$  та  $\xi_i$ .

Падіння тиску при атмосферному тиску  $P_{01}$  буде:

$$\Delta P_{01} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_{01} W_{01}^2}{2g}, \quad (6)$$

а при тиску  $P$ :

$$\Delta P_p = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_p W_p^2}{2g}. \quad (7)$$

Підставивши у вираз (7) значення з рівняння (3) отримуємо:

$$\Delta P_p = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_p \left( W_{01} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} \right)^2}{2g} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_{01}^2 W_{01}^2}{2g}. \quad (8)$$

Поділивши вираз (8) на (6)

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_{01}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_p \left( W_{01} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} \right)^2}{2g}}{\left( \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \frac{L_i}{l_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \right) \frac{\rho_{01} W_{01}^2}{2g}}$$

після елементарних перетворень отримуємо вираз (1).

Іншою причиною, що викликає зменшення енерговитрат на переміщення ГПХ, є зменшення його об'ємних витрат при підвищенні тиску:

$$V_p = V_{01} \frac{\rho_{01}}{\rho_p}. \quad (9)$$

Дійсно, при умові постійних масових витрат  $G$ , об'ємні витрати газоподібного холодоагенту при атмосферному тиску будуть дорівнювати

$$V_{01} = \frac{G}{\rho_{01}}, \quad (10)$$

а при тиску  $P$

$$V_p = \frac{G}{\rho_p}. \quad (11)$$

Підставивши у вираз (11) значення  $G$  з (10) отримуємо рівняння (9)

Енергозатрати на переміщення ГПХ визначаються за формулою [6]

$$L_B = \frac{V \Delta P_B}{\eta}, \quad (12)$$

де  $\Delta P_B$  – напір, що створюється вентилятором  $\Delta P_B = \Delta P + P_\Gamma$ , де  $P_\Gamma$  – гідростатичний тиск шару рідини в кристалізаторі - виморожувачі, при прийнятих вище умовах величина незмінна;

$\eta$  – к.к.д. вентилятора, практично незалежний від тиску.

При атмосферному тиску енерговитрати на переміщення газоподібного холодоагенту при атмосферному тиску визначаються як

$$L_{B01} = \frac{V_{01} \Delta P_{B01}}{\eta} = \frac{V_{01} (\Delta P_{B01} + P_\Gamma)}{\eta}, \quad (13)$$

а при тиску  $P$  як

$$L_{\text{вп}} = \frac{V_p \Delta P_{\text{вп}}}{\eta} = \frac{V_p (\Delta P_{\text{вп}} + P_{\Gamma})}{\eta}. \quad (14)$$

З (13) та (14) з урахуванням (1) та (9) маємо:

$$L_{\text{вп}} = L_{\text{в01}} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} \frac{\Delta P_{\text{в01}} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} + P_{\Gamma}}{\Delta P_{\text{в01}} + P_{\Gamma}}. \quad (15)$$

Так як  $\frac{\rho_{01}}{\rho_p} < 1$  та  $\frac{\Delta P_{\text{в01}} \frac{\rho_{01}}{\rho_p} + P_{\Gamma}}{\Delta P_{\text{в01}} + P_{\Gamma}} < 1$ , то  $L_{\text{вп}} < L_{\text{в01}}$ , тобто з підвищенням тиску

газоподібного холодоагенту енерговитрати на його переміщення зменшуються.

Визначаючи загальні енерговитрати на концентрування рідин при підвищеному тиску ГПХ, необхідно враховувати залежність його розчинності в рідині від тиску та температури. Оскільки розчинність газів, наприклад, повітря з підвищенням тиску та зниженням температури збільшується, то буде збільшуватися частина повітря, яка виноситиметься потоками прісної води та концентрату, що виводяться з установки концентрування при  $P_p > P_{01}$ . Ці втрати повітря необхідно поповнювати, що викличе додаткові енерговитрати.

Тому повинна існувати область оптимальних значень тисків газоподібного холодоагенту, для яких сумарні енерговитрати на його переміщення та поповнення виносів будуть мінімальними.

На основі розробленої нами методики для запропонованого способу були виконані розрахунки енерговитрат на переміщення і поповнення повітря  $L_{\text{в}} + L_{\text{п}}$  та загальних енерговитрат  $L$  в залежності від тиску  $P$  газоподібного холодоагенту (повітря) при концентруванні водних розчинів виморожуванням. Результати розрахунків, виконаних для концентрування взятих в якості прикладу водних розчинів NaCl від початкової концентрації 2% до кінцевої 14%, з урахуванням вищенаведених припущень, наведені на рис. 2.

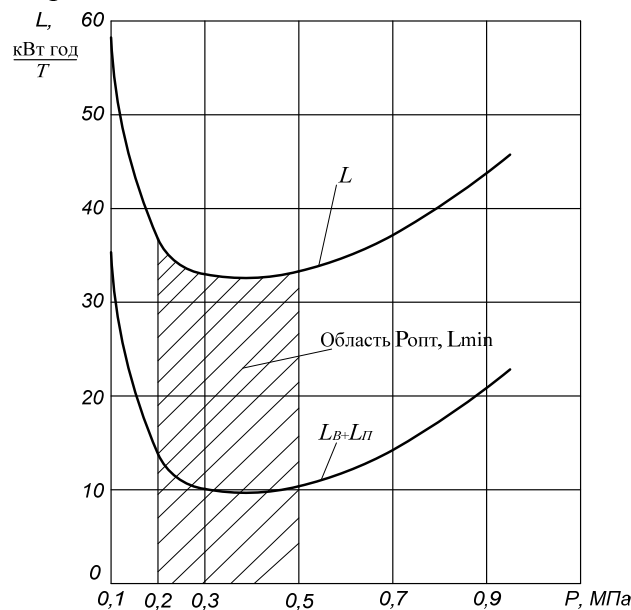


Рисунок 2 – Залежності енерговитрат  $L$  і  $L_{\text{в}}+L_{\text{п}}$  від тиску газоподібного холодоагенту при концентруванні водних розчинів виморожуванням

Як видно з рисунку, існує область оптимальних тисків ГПХ:  $P = 0,2 \div 0,5$  МПа, для яких  $L_v + L_p$  і  $L$  мають мінімальне значення.

Слід зауважити, що відношення тисків  $P/P_{01}$   $2 \div 5$ , яке визначає область мінімальних енергозатрат, хоч і отримане для конкретного прикладу концентрування водного розчину, буде справедливим і для інших мінералізованих розчинів та ступенів їх концентрування.

**Висновки.** Розглянуто спосіб концентрування водних розчинів виморожуванням при різних тисках газоподібного холодоагенту та запропоновано методику визначення енерговитрат при його здійсненні.

Визначено, що при підвищених тисках газоподібного холодоагенту (повітря) в області значень  $2 < P/P_{01} < 5$  енерговитрати на концентрування водного розчину виморожуванням мінімальні та менші, ніж при атмосферному тиску в  $1,6 \div 1,8$  рази.

## Список літератури

1. Rahman M. S. and Al-Khusaibi M. Freezing-Melting Desalination Process / Desalination: Water from Water- Copyright © 2014 Scrivener Publishing LLC- Published Online: 31 JAN 2014- P. 473-502; DOI: 10.1002/9781118904855.ch10.
2. Пат. 86257 Україна, МПК C02F/22. Спосіб опріснення мінералізованої води / І.П. Ріло, В.А. Гурин, М.М. Гіроль, В.П. Востріков; заявник і патентотримувач Національний університет водного господарства та природокористування. - №а200703596 ; заявл. 02.04.2007 ; опубл. 10.04.2009, Бюл.№ 7.
3. А. с. 1084037 СССР. Способ концентрирования водных растворов вымораживанием /Л.Ф. Бондаренко, Е.И. Таубман, Л.А. Барский, В.И. Савинкин, Б.Л. Пастушенко. №3002362/23-26 ; заявл. 10.11.1980; опубл. 07.04.1984, Бюл. № 13.
4. В.В. Клименко, І.О. Переверзев, Н.В. Ковальчук. Підвищення ефективності концентрування водних розчинів виморожуванням. / Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві”. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.29-30.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и гиджостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 626 с.
6. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.

**Vasyl Klymenko, Prof., DSc., Igor Pereverzev, Assos. Prof., PhD tech. sci., Natalya Kovalchuk, lecturer**  
*Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine*

### **Increasing energy efficiency of concentrating aqueous solutions using freeze**

The purpose of this research is a way to increase the efficiency of concentrating aqueous solutions using freeze, by using refrigerant gas (RG). Preliminary analysis showed, that the value of energy consumption, substantially depends on the pressure, that applying to RG circulation, in the circuit inside the installation for concentrating of solutions.

To achieve the goals, we need to figure out the functional dependence of energy consumption of aqueous solutions concentrating by using RS freeze, on the pressure in the installation, and determine the optimum (minimum) value of such dependence. We have developed a methodology, and performed calculations of energy consumption on movement and replenishment of air, and general energy consumption, depending on pressure of RG (air) during a process of aqueous solution concentrating by freeze.

It's determined, that concentrating of the aqueous solution by freeze, using RG (air) at high pressure, in a range of values of  $0.2 \text{ MPa} \leq P \leq 0.5 \text{ MPa}$ , takes less energy consumption, then concentrating at the atmospheric pressure in  $1,6 \div 1,8$  times.

**concentrating of aqueous solutions, energy consumption, refrigerant gas, separation of ice, freeze**

Одержано 16.12.15

UDC 621.577

**Martin Klempa; Petr Bujok; Michal Porzer; Nikola Janečková***Research Polygons in the Campus of VSB – Technical University of Ostrava, Czech Republic,  
E-mail: martin.klempa@vsb.cz*

## Used to Monitoring of Rock Mass Temperature Changes during Application of Heat Pumps

The largest been realized installations of heat pumps in the Czech Republic, where the primary collector of low-potential heat is formed deep wells, is heating complex building of new Auditorium and CIT in campus of VSB – Technical University of Ostrava. Currently building heats 10 heat pumps with a total output of 700 kW through 110 wells with a depth of 130 m each. To assess the proportions of individual internal and external sources to the overall heat balance, the verification of systems designed for long-term monitoring of the behaviour of the rock massive around the energy used wells and energy storage options have been proposed and gradually implemented two research measuring polygons.

**Research Polygons, Heat Pump, Borehole, Temperature Profile, Renewable Energy****Мартин Клемпа, Петр Буйок, Міхал Порзер, Нікола Янечкова***Дослідницькі ділянки університетського комплексу VSB – Остравський технічний університет,  
м. Острава – Поруба, Чесьська республіка***Моніторинг змін температури гірської маси під час застосування теплових насосів**

Найбільші установки теплових насосів знаходяться в Чеській Республіці, де основний колектор низько потенційного тепла формується в глибоких свердловинах, що дає змогу опалювати комплекс будівель на території технічного університету міста Острава. На сьогодні будівля обігривається за допомогою 10 теплових насосів із загальною потужністю у 700 кВт та 110 свердловинами глибиною 130 метрів кожна. Для оцінки співвідношення окремих внутрішніх та зовнішніх джерел до загального теплового балансу було створено системи верифікації для довгострокового моніторингу стану скального масиву навколо свердловин, які використовують енергію та було запропоновано варіанти зберігання енергії. Цей процес поступово виконується за допомогою двох дослідницьких вимірювальних площадок. дослідницькі ділянки, тепловий насос, скважини, Температурний профіль, поновлювальні джерела енергії

**Introduction.** In the Czech Republic the number of installations for low enthalpy geothermal energy utilization using the borehole heat exchangers (BHEs) increases recently. VSB – Technical University of Ostrava belongs among the pioneering organisations in the Czech Republic involved in this field.

Currently the ground source heat pumps (GSHP) are employed in 4 buildings of VSB-TU Ostrava which are the university auditorium and the Centre of Information Technology (CIT), one of the Energy Research Centre's buildings, the new building of Faculty of Electrical Engineering and Computer Science (Fig. 1) and the low-energy house of Faculty of Civil Engineering.

The GSHP installation on the university auditorium and the Centre of Information Technology, which is in fact one building, is the largest one in Czech Republic that uses BHEs as a heat source and is located at the campus of VSB – TU Ostrava in city's part Ostrava – Poruba. The construction of this building began in 2004 and was approved in 2006. This article will be focused particularly on this installation.

The main parts of the auditorium building are the lecture halls where the main hall has the capacity of 500 seats. These halls are used for lectures, graduation ceremonies, congresses and cultural events. Also the cloakroom, lavatory, buffet and other necessary facilities are parts of the auditorium along with the underground garage. The CIT's part of the building consists of offices, conference hall and hygienic facilities which are operationally separated block from those facilities mentioned above.

The GSHP utilization in this building was suggested as a change to the original project which included Ostrava's district heating system for a heat supply. The heating, ventilation and air conditioning (HVAC) system of building consists of radiators, ventilators and underfloor heating.

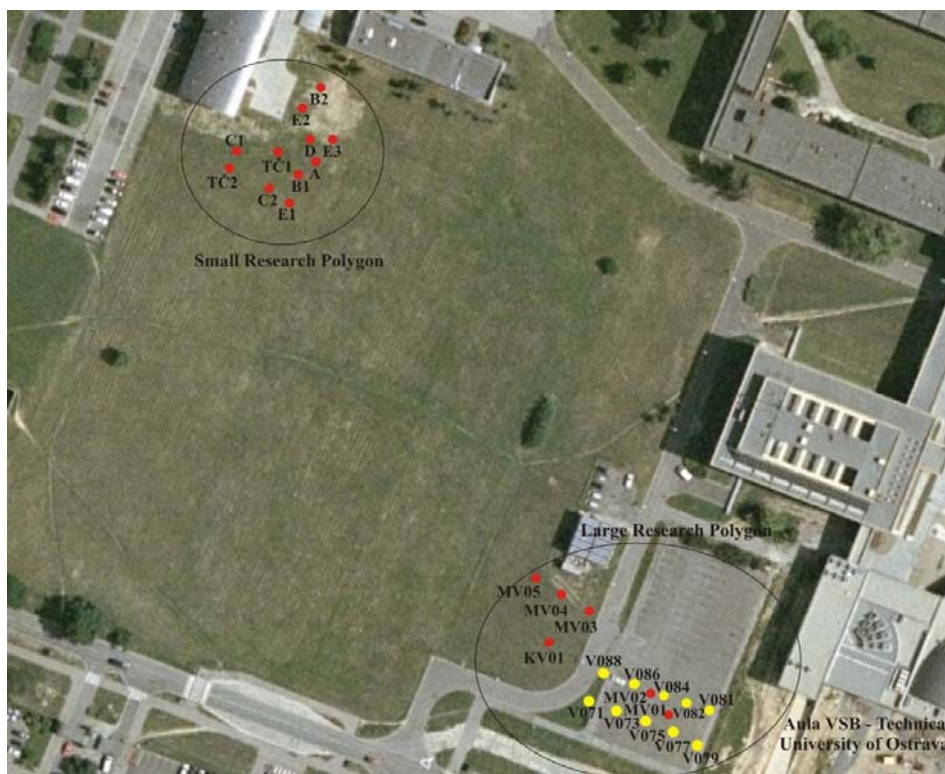


Figure 1 – Situational scheme of Large Research Polygon and Small Research Polygon [1]

#### Technical details of Auditorium building heating system

Building (Fig. 2) is equipped with 10 GSHP's Greenline D70, IVT (Fig. 3) with 69,8 kW power each at temperature gap 0/50°C which are exploited for water heating, heating of building and air conditioning and are situated in building's basement. Overall installed power of GSHPs is 698 kW and the district heating system is used in a bivalent heating mode. Along with the GSHPs there are two water tanks with capacity of 700 litres and other operational equipment like regulation system, etc. The connection to the secondary heating circuit of the auditorium building is done through the heat exchanger central which was originally designed for district heat supply.



Figure 2 – Auditorium



Figure 3 – 10 GSHP's [6]

The borehole heat exchangers (BHEs) which supply heat to the GSHP's are situated around the auditorium building. BHEs are under the surface covered by grass and tarmac of the parking lots. Preceding studies and measurements on the largest installation utilizing GSHPs to date were the resource of information for dimensioning the number and depth of BHEs. This previous installation is situated in Opava city and it supplies the heat for the town's multi-purpose hall with overall GSHP's power of 455 kW that uses 81 BHEs of 100 meters of length each. Along with the experience from Opava installation the two thermal response tests (TRT) were conducted and evaluated by specialist from Lund University in Sweden on the site of auditorium building. [2,4,7] Lithological and stratigraphic data from boreholes at the site can be found in Table 1.

Table 1 – Geological profile of Large Research Polygon [6]

Depth Interval [m]	Geological Profile
0,0 – 2,0	yellowish brown clay - Quaternary
2,0 – 3,0	yellowish brown clay with gravel - Quaternary
3,0 – 8,5	yellow sand and gravel - Quaternary
8,5 – 13,0	brown sand and gravel - Quaternary
13,0 – 14,2	clayey sand - Quaternary
14,2 – 78,0	green clay - Miocene
78,0 – 83,5	sandy clay - Miocene
83,5 – 130,7	clay stone, silt stone, middling sandstone – Lower Carboniferous

According to our experience with similar conditions, the value of the specific heat flux was set on  $45 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$  and with other data gained thanks to the previous research and *in situ* tests the whole length of BHEs was estimated at 15400 meters which are divided into the 110 BHEs of 140 m depth each with diameter of 120 mm. During the drilling works the geological setting was evaluated and the lithology remains similar in each borehole except the surface of carboniferous strata which has variable depth. Drilling rigs Nordmeyer DSB 2/010 with down the hole drilling hammers Atlas Copco COP 44 were utilized for BHEs drilling. The completion of each BHE was done with double HDPE U-tube 32/2,9 and with the cement-bentonite grout mixture injection. Each of the U-tubes inlets and outlets are coupled by the 40/3,7 HDPE tube. There are 5 shafts and 22 BHE's inlets and outlets is lead into each. Each of these shafts is equipped by the collectors and separators for each branch of tubes from and to each BHE. The GSHPs and shafts are connected by 110/6,6 PE tube. The heat carrying

medium is 30 % ethylalcohol-water mixture and is circulated by the WILO NP-50/160 pump. [3]

One of the parts of this system is also the standby coolant unit Chiller – Aermec type RV for air conditioning with whole cooling power of 475,5 kW, 67,8 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> flow rate of cooled water and temperature gradient of 8/14°C. The primary circuit of heat pumps serves as the backup cooling device.

#### **Large Research Polygon**

For research purposes on long-term dynamic changes of thermal properties in the rock environment the two BHE polygons were constructed on the VSB-TU Ostrava campus (Fig. 1). The small research polygon (SRP) was set up for evaluation of small BHE installation (i.e. 2 - 4 BHEs) operational effects on surrounding rock and large research polygon (LRS) for the same purpose in large installation (i.e. 5 or more BHEs) case. The construction details of LRS were consulted with researchers from Institute for Applied Geology, Technical University of Karlsruhe in Germany.

Long-term research goals are:

- high resolution monitoring of the heating/cooling performance of BHEs in rock environment;
- research of thermal field in the vicinity of the BHEs under the real operating conditions;
- verification of parameters estimated in projection of research polygons;
- improvement of analytical and numerical models of heat transfer in the vicinity of BHEs;
- evaluation of possible utilization of available modelling programs;
- verification of applicability of the thermal sensors in the BHE with main focus on their precision, placement and working life length.

#### **Implementation of technology for the research goals fulfilment**

The thermal field in the rock surrounding the BHEs in the large polygon is logged thanks to the thermal sensors that are embedded in the BHEs themselves (10 logged BHEs) and in monitoring boreholes that were drilled for the sole purpose of temperature logging (5 boreholes) of the thermal field influenced by the BHEs operation and also for logging of region thermally undisturbed by BHEs operation to monitor natural changes in the rock environment temperature. This temperature logging is done in area of the shaft 4 which collects the heat carrying fluid from 22 BHEs.

For LRS the group of 10 BHEs was selected. This group consists of 2 parallel lines of 5 BHEs each (BHEs are labelled VO71, VO73, VO75, VO77, VO79, VO81, VO82, VO84, VO86 a VO88) and they are lead into the shaft 4 together with other 12 unlogged BHEs. Thermal sensors are permanently fixed inside the U-tubes of BHEs and there are 6 sensors per BHE. Their placement inside the BHE is as follows:

- 4 sensors on inlet tube to the BHE in 20 m, 50 m, 100 m and 140 m of tube's length;
- 2 sensors on the outlet tube from the BHE in 20 m and 100 m length of the tube (measured from the ground surface).

Thermal sensors are the Pt-1000 class A. Sensors have a sealing case which prevents the moisture from BHEs grout mixture or the ground water to affect their measuring abilities. [5]

#### **Small Research Polygon**

The experience gathered when performing the Big Research Field was employed while constructing its small equivalent. Each of the boreholes was equipped with a small technological shaft giving access to the borehole outlet and so the PE collector coils, electrical wires and connection boxes. The connection boxes were sealed and disposed above the groundwater level. The wires were directed to the Energy Research Centre along the shortest

possible way.

### Monitoring system of Small Research Polygon

The monitoring system of the Small Research Polygon consists of two heat pumps (IVT type Greenline E 11 Plus, of heating power 2 x 11 kW), connected to two boreholes 140 m deep and a group of 9 measurement boreholes in the close vicinity. The Small Research Field is used for measuring the influence of heat pumps on the rock mass. Unlike the Large Research Polygon its measuring scope in the function of depth was broader. It was additionally equipped with a control and measuring system for establishing the solar intensity on rock mass and apparatuses used for testing various types of sensors. The distribution of sensors in boreholes is presented in Fig. 4.

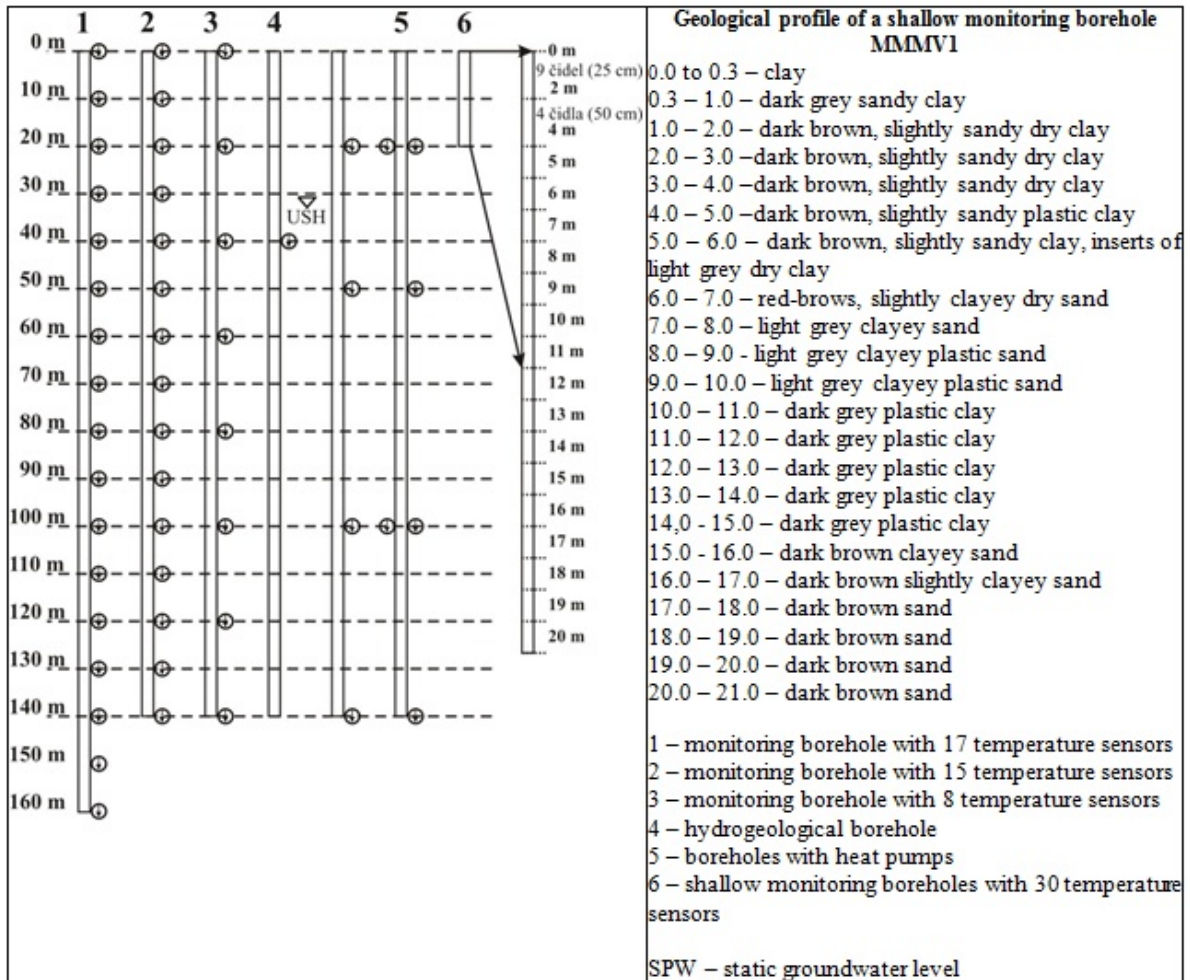


Figure 4 – Distribution of temperature sensors in the Small Research Polygon

### Monitoring borehole MMV – 1 (in Fig. 4 – No. 6)

Monitoring borehole MMV - 1 was drilled to 20,5 m of depth. The lithology of the drilled rocks was as visualized in the above table. The borehole was cased to a depth of 20 m with casing pipes 75 mm in diameter. The borehole outlet was protected with a covered short shaft. The borehole was equipped with temperature sensors Pt 1000 and DS18B20 disposed in two parallel rows.

The temperature sensors were distributed every 0.25 m to a depth of 2 m, then every 0,5 m to a depth of 2 - 4 m and every 1 m at a depth of 4 m downwards (see Fig. 5). A total of 30 temperature sensors Pt1000 and 30 identically distributed control sensors DS18B20 were

disposed in the boreholes. All measurement sensors were connected to the measuring system in the Energy Research Centre, where data were automatically recorded.

The monitoring borehole MMV - 1 was mainly used for monitoring seasonal temperature variations in the borehole's surface layer depending on the season of the year. The averaged values of temperature changes in the function of depth obtained for various months of the years 2010 – 2013 are presented in Fig. 5.

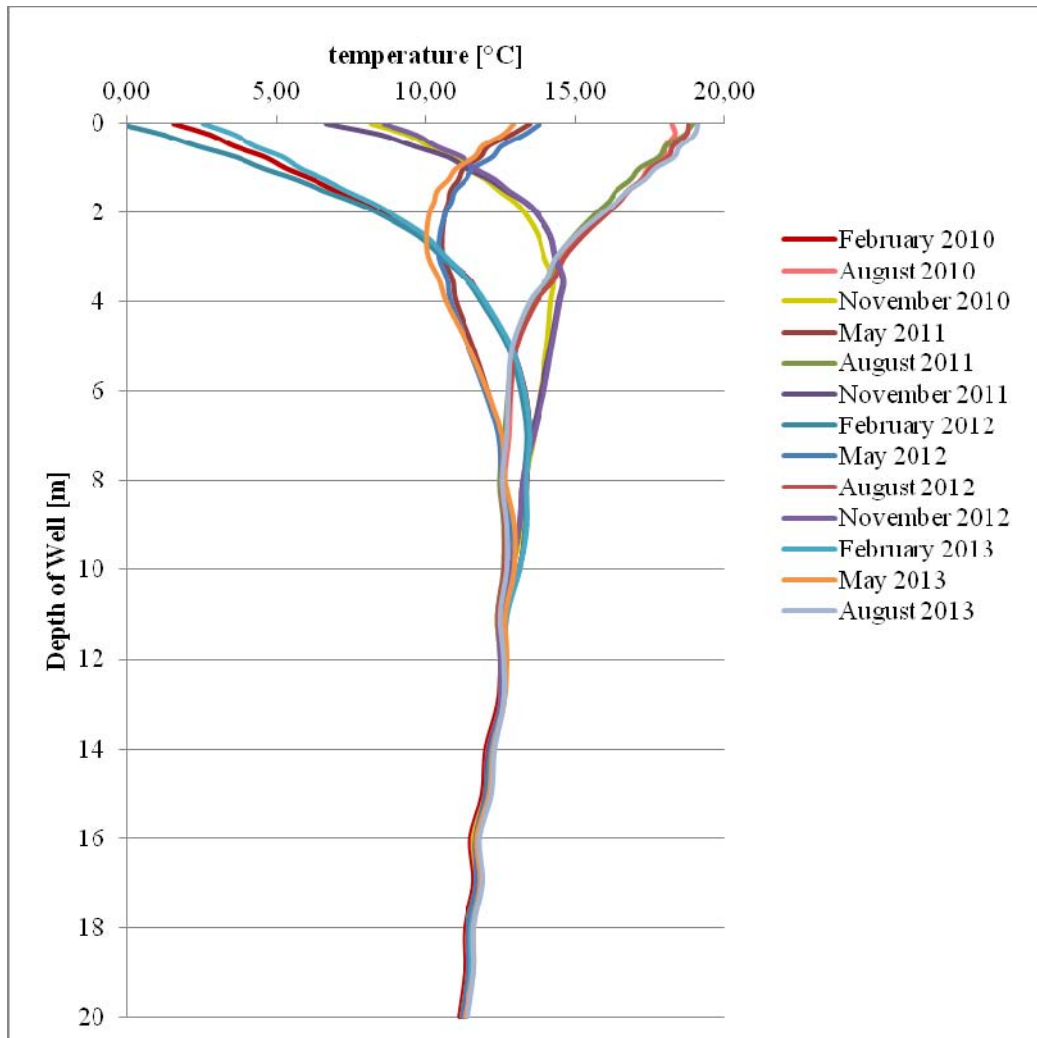


Figure 5 – Temperature profile in the years 2010 – 2013

### Summary – Conclusions

To the temperature logging of BHEs the data of water table heights, ground water flow and surficial and atmospheric temperatures are added. The temperature slices through the LRP in different time steps allows us to further investigate the thermal field during heat production or thermal stabilization period without operation of the BHEs. The example of temperature log from one BHE in several time steps is introduced in Fig. 6. Temperature logs can yield an important information about e.g. neutral zone depth (i.e. zone where the temperature of deeper intervals increases according to geothermal gradient) which is situated at 45 – 50 m below the ground surface in our case

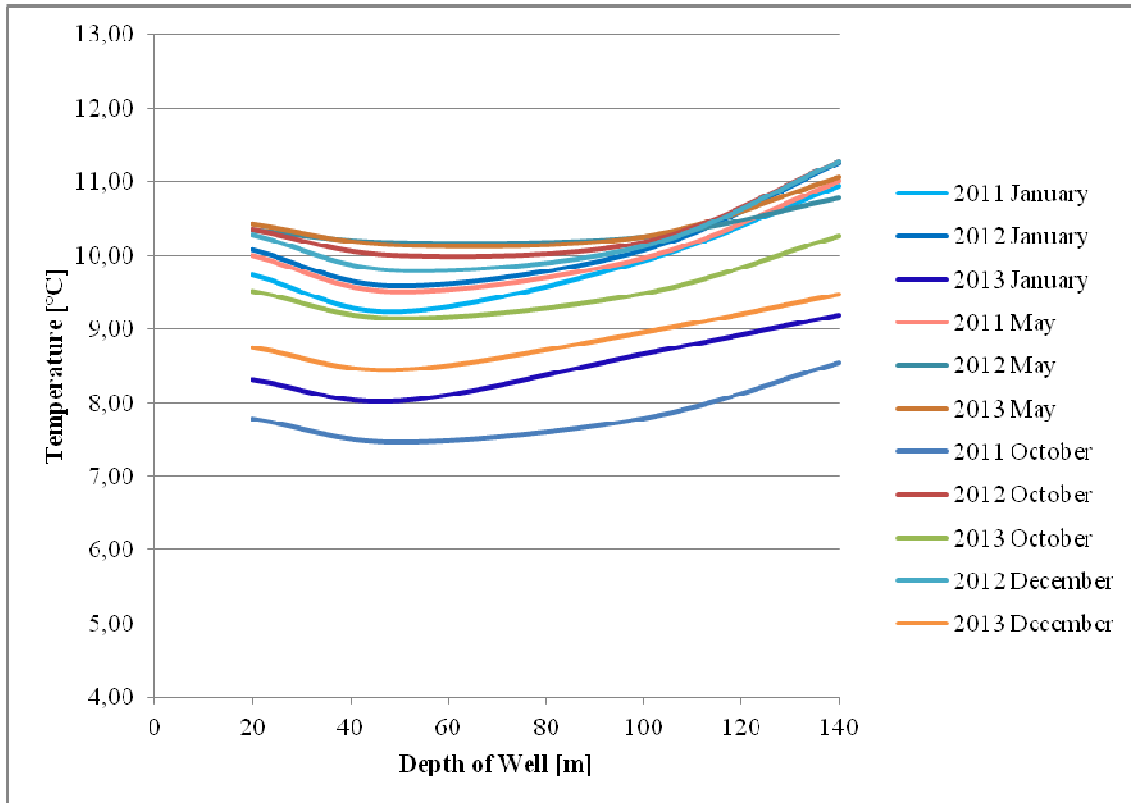


Figure 6 – Temperatures in the depth interval from 20 to 140 m

In some literature positions we can read that no seasonal annual temperature variations are observed in rock mass at a depth of 10 - 12 m b.s., even in the Scandinavian countries. Within this range the rock mass temperatures change proportionally to the surface temperature and are close to the annual average value for air. Most authors of various publications indicate that the annual temperature is constant to the neutral zone level, i.e. to a depth at which temperature may undergo long-lasting changes under the influence of climate or seasonal variations. Down the neutral zone level, no temperature impact in a function of time was observed and its depth-related variability depended only on geothermal gradient typical of a given geological area. In most of the areas in Czech Republic the temperature rises with the increasing depth by 2° to 3°C per each 100 m of depth. Fig. 7 illustrates annual temperature changes in a function of depth for selected month in 2011 [3].

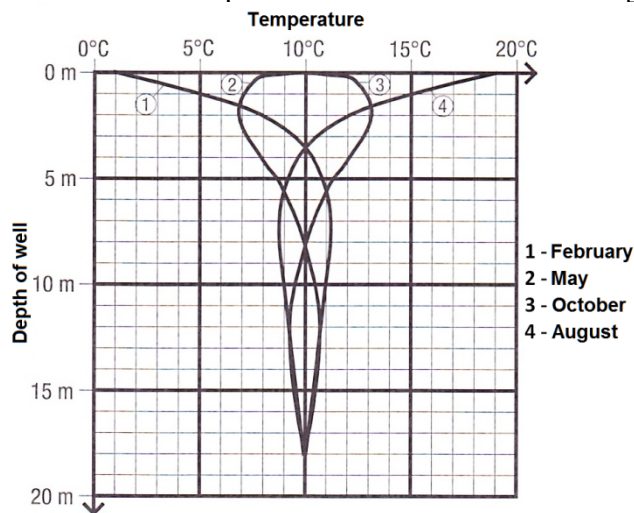


Figure 7 – Temperature vs. depth, after [3]

The analysis of temperature vs. depth variations presented in Fig. 7 reveals that temperature changes are symmetrical over the year. At a depth of 1,2 to 1,5 m the temperature oscillates between 7° and 13°C to reach its steady state at about 10°C at 18 m of depth.

The measurements performed in the VSB-TU Ostrava research fields (Fig. 5) indicate that annual temperatures were not symmetrical as far as seasonality was concerned. In our case the temperature at a depth of 1,2 to 1,5 m ranged between 7,5 and 17,5°C. From a depth of 18 m downwards the temperature level established at a level of 12°C, regardless the season of the year. The analysis of Fig. 6 shows that the temperature had a decreasing tendency till it reached the neutral zone which in the Small Research Field was observed at 35 to 40 m of depth. This result was obtained in other, deeper boreholes. At analogous depths a constant temperature of 8°C was obtained there, corresponding to the average temperature in the monitored area. The intensity of changes of external conditions and their influence on the surface rock mass was plotted in Fig. 8 for the same months in the years 2010 - 2013. The most intense changes and a difference in temperatures took place at about 6 m of depth. Below this value the rate of temperature decrease in particular months was similar. Hence a conclusion that certain schemes presented in literature should be treated as approximations or schemes. A real distribution of the temperature profile in the surface layer can be determined only based on *in situ* analyses.

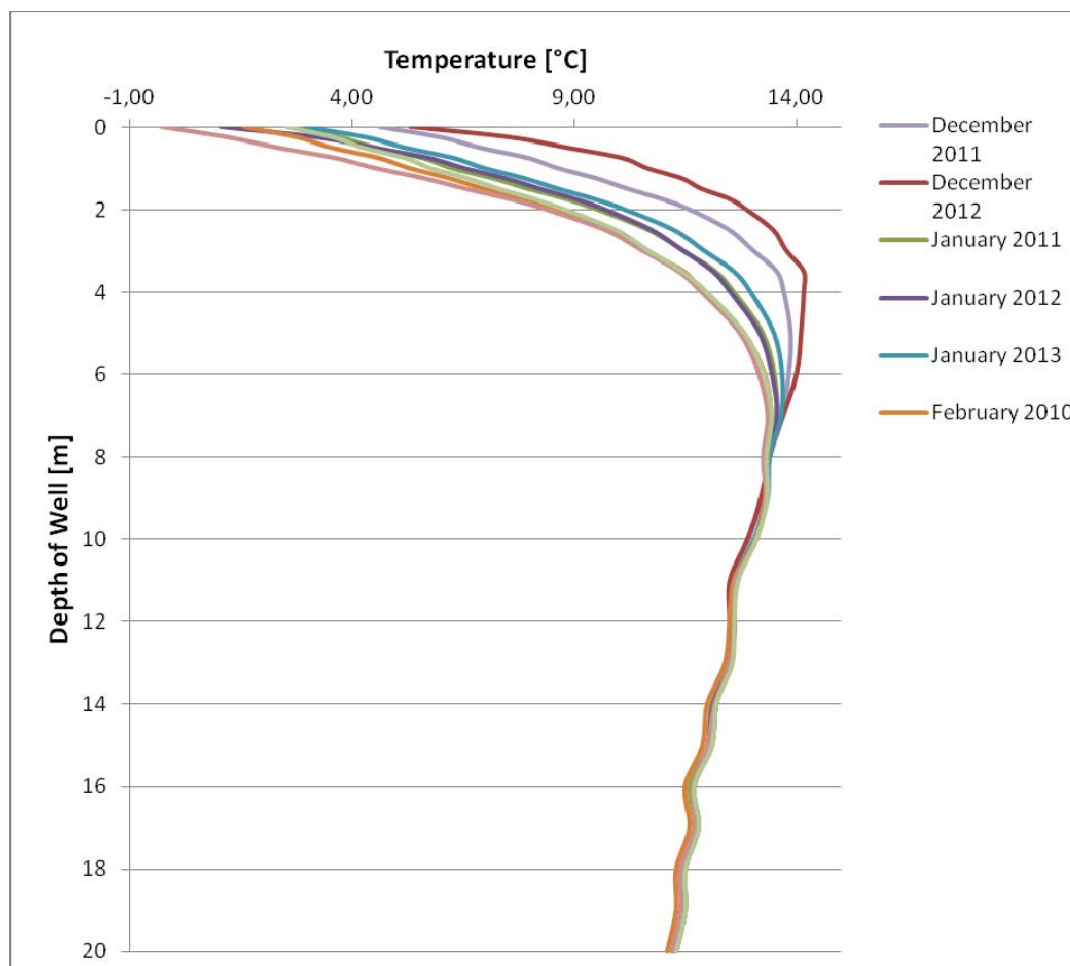


Figure 8 – Course of temperature changes in a function of depth in the years 2010 - 2013 in monitoring borehole MMV-1 in different months

This type of knowledge is necessary, especially in places where energy recovery from horizontal collector coils in the ground is planned. When energy is recuperated through boreholes with the use of collectors, i.e. heat pumps the influence of such changes can be ignored when sufficiently deep boreholes are involved. In the case of shallow boreholes and collector coils disposed horizontally, one should consider injecting materials of different thermal conductivity to the near-borehole area, or insulating the surface part of the borehole.

**Acknowledgments.** This article was written in connection with project Institute of clean technologies for mining and utilization of raw materials for energy use - Sustainability program. Identification code: LO1406. Project is supported by the National Programme for Sustainability I (2013-2020) financed by the state budget of the Czech Republic.

The paper was prepared under the support of grant project No. 01020932 entitled “Using Geothermal Energy for Renewable Energy Sources Systems Including Verification of Energy Accumulation”, of the Technology Agency of the Czech Republic.

## References

1. Bujok, P.; Klempa, M.; Rado, R.: Analiza pomiarów inklinometrii w otworach geotermalnych na poligonie doświadczalnym VŠB-Uniwersytet Techniczny w Ostrawie. *Wiertnictwo Nafta Gas*, TOM 27, Zeszyt 1-2, ss. 91-100, ISSN 1507-0042, 2010.
2. Bujok, P.; Mikundová, P.; Hájovský, P.: Proces implementace výzkumu v horninovém masivu v lokalitě malého výzkumného polygonu na VŠB-TU Ostrava. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej Nr 1814, Górnictwo z. 287*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ss. 27-35, ISSN 0372-9508, 2009.
3. Firemní materiály firmy REHAU.
4. Hellström, G.: Thermal Response Test, Borehole No.1, Mining University Ostrava, Report No. 050405-050408, 2005.
5. Klempa, M.; Bujok, P.; Pospíšil, P.; Hájovský, R.: The experiences from construction and operations of the experimental underground heat storage reservoir in the campus of VSB – Technical university of Ostrava. 11<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20 - 25 June 2011, str. 115 – 122. ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/SGEM2011/S18.117.
6. Kunz, K.: Komplexní posouzení horninového prostředí jako zdroje nízkopotenciální tepelné energie. *Disertační práce doktorandského studia, VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta*, 2009.
7. Vojčiňák, P.; Hájovský, R.; Koziorek, J.: Using Measurement, Data Analysis and Modelling for Borehole Polygons. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2011 1*, art no. 6072700, pp. 2 – 9. ISBN: 978-145771423-8. DOI: 10.1109/IDAACS.2011.6072700.

### **Мартин Клемпа, Петр Буйок, Михал Порзер, Никола Янечкова**

*Исследовательские участки университетского комплекса VSB – Остравский технический университет, г. Острава – Поруба, Чешская республика*

#### **Мониторинг изменений температуры горной массы во время применения тепловых насосов**

Статья ориентирована на проблематику использования дешевых источников энергии горных пород с помощью тепловых насосов и возможности хранения избыточного тепла такой среды. Здесь также рассматривается другая из исследуемых тем – долгосрочные изменения температуры в приповерхностном слое под влиянием климатических условий.

В настоящее время в Остравском Техническом Университете проводится мониторинг в трех научно-исследовательских центрах. Основной исследовательский центр (VVP) находится в новом актовом зале здания СИГ. Для его отопления используется 110 пробуренных теплообменников. Каждая скважина достигает глубины 140 м. Скважины соединены с 10 тепловыми насосами общей мощностью 700 кВт. Измерения проводятся на 10 рабочих скважинах, оборудованных температурными датчиками и 6 наблюдательных скважинах. Малый исследовательский центр (MVP) расположен у здания Центра энергетических исследований (VEC). Для измерений здесь используются две рабочие скважины, подключенные к тепловым насосам общей мощностью 69,8 кВт и 9 наблюдательных скважин. Все они оснащены температурными датчиками. Десять скважин имеют глубину 140 м, одна – глубину 160 м.

Третий, так называемый, мини-исследовательский центр имеет одну скважину, пробуренную до глубины 140 м и соединенную с тепловым насосом 6 кВт. Для подробного мониторинга изменений

температуры в приповерхностном слое служит специальная скважина глубиной 20,5 м, которая также находится в здании ВЕС.

Исследования, проведенные в центрах VVP а MVP показывают, что изменения температуры в массиве горных пород происходят очень медленно и в малом объеме. В течение лета происходит регенерация температурного поля. Мониторинг изменений температуры вблизи поверхности (на территории VSB - TУO) показывает, что краткосрочные климатические эффекты (смена времен года) являются на глубине около 12 м незначительными.

**исследовательские участки, тепловой насос, скважины, Температурный профиль, возобновляемые источники энергии**

Одержано 17.11.15

УДК 621.315.175

**О.А. Козловський, викл., А.Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: kozlovskyioa@gmail.com*

## Математична модель прогнозування ожеледоутворення на проводах повітряних ліній електротрансмісії

Розроблено адаптивну модель прогнозування на основі ковзної лінійної регресії, що дозволяє визначати час утворення ожеледно-паморозевих відкладень на проводах повітряних ліній. Для оцінки надійності прогнозів отримано аналітичне рівняння фідучіальних меж. Виконано порівняльний аналіз результатів прогнозування отриманих за методами ковзної лінійної та лінійної регресії. Запропонована прогностична модель має достатню точність та надійність для розробки на її основі прогнозуючої системи технічного діагностування ожеледоутворення на проводах повітряних ліній електротрансмісії.

**повітряна лінія електротрансмісії, обледеніння проводів, прогнозування, динамічний ряд**

**А. А. Козловский, преп., А.Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Математическая модель прогнозирования гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи**

Разработана адаптивная модель прогнозирования на основе скользящей линейной регрессии позволяет определять время гололедообразования на проводах воздушных линий. Для оценки надежности прогнозов получено аналитическое уравнение фидучиальных границ. Выполнен сравнительный анализ результатов прогнозирования полученных по методам скользящей линейной и линейной регрессии. Предложенная модель имеет достаточную точность и надежность для разработки на ее основе прогнозирующей системы технического диагностирования гололедообразования на проводах воздушных линий.

**воздушная линия электропередачи, обледенение проводов, прогнозирование, динамический ряд**

**Вступ.** Ожеледно-вітрові явища є однією з основних причин, що призводять до технологічних порушень у роботі повітряних ліній електротрансмісії енергопостачальних компаній України. На сьогодні запропоновано велику кількість активних методів захисту проводів (грозозахисних тросів) повітряних ліній від ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ). Практична реалізація конкретного способу

захисту залежить від багатьох факторів: класу напруги мережі, технічного стану повітряних ліній та обладнання підстанцій, потужності силових трансформаторів, тощо. Найбільш часто застосовується плавка ожеледі електричним струмом, що перевищує тривало допустимі значення і дозволяє досить швидко звільняти від ожеледно-паморозевих відкладень проводи повітряних ліній. У зв'язку з великою розгалуженістю та протяжністю електромереж, складністю збирання/розбирання схем плавки ожеледі у тяжких погодних умовах для її успішного проведення необхідна своєчасна і достовірна прогностична інформація про початок процесу ожеледоутворення на проводах повітряних ліній.

**Постановка проблеми.** У даний час про можливість утворення ожеледі енергопостачальні компанії попереджає Український гідрометеорологічний центр. При цьому використовуються метеорологічний і кліматичний методи прогнозування, але їх застосування для повітряних ліній є обмеженим із-за неможливості врахування специфіки процесів, що протікають при утворенні ожеледно-паморозевих відкладень на проводі. Тому в більшості випадків, електротехнічний персонал отримує інформацію про початок обледеніння проводів повітряних ліній електричних мереж із затримкою. Отже, питання розробки методів діагностування утворення ожеледно-паморозевих відкладень на проводах повітряних ліній електропередачі є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Обледеніння проводів повітряних ліній електропередачі (ПЛЕ) залежить від великої кількості метеопараметрів та параметрів самого проводу [1, 2]. Тому використання існуючих динамічних моделей, на основі лінійних диференціальних рівнянь, пов'язане зі значними труднощами при технічній реалізації засобів короткострокового прогнозування обледеніння проводів. Найбільш придатним для цієї мети вважається інструментальний метод [3, 4], сутність якого полягає в періодичному контролі параметру діагностування і побудові на основі отриманих даних прогностичної моделі у режимі реального часу.

В інструментальних методах прогнозування обледеніння проводу за граничну умову появи ожеледі приймається рівність нулю предиканта:  $y = 0$ , а задача прогнозування заключається у пошуку дійсного кореня  $\tau_{ic}$  рівняння  $y = f(\tau) = 0$ , де  $\tau$  – поточний час. Найпростіше для цього використати будь-який метод пошуку кореня рівняння [5], але у даному випадку функція  $f(\tau)$  на момент побудови прогнозу ще не існує. У працях [3, 4] запропоновано екстраполювати  $f(\tau)$  лінійною функцією побудованою по двох останніх значеннях  $y_{i-1}, y_i$ , за умови, що вона околі точки  $y = 0$  лінійна, а  $y_{i-1}, y_i$  виміряні через однакові інтервали часу  $\Delta\tau$ :  $y_{i+1} - V_i\tau = 0$ , де  $V_i = (y_i - y_{i+1})/\Delta\tau$  – швидкість зміни предиканта  $y$ . Однак, функція  $f(\tau)$  у заданих межах, як правило, не лінійна. Тому такий прогноз буде не стійким, також неможливо визначити оцінку похибки з якою  $y_i$  наближає істинне значення кореня  $\tau_{ic}$ . Таким чином, для покращення якості прогнозів необхідно розглядати більшу передісторію вимірюваних значень, а їх сукупність – як дискретний динамічний ряд  $\{x_\tau\}$ .

У праці [6] доведено, що початок фазового переходу у термодинамічній системі «атмосферне повітря – провід» доцільно діагностувати за часом роботи джерела охолодження  $\tau_{fr}$  (за умови постійної потужності охолодження:  $P_{fr} = \text{const}$ ) при періодичному штучному охолодженні проводу до появи на ньому ожеледно-паморозевих відкладень.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є розробка математичної моделі прогнозування часу ожеледоутворення на проводах повітряних ліній електропередачі

на основі аналізу дискретного динамічного ряду.

**Виклад основного матеріалу.** Дискретні динамічні ряди можливо розглядати з двох точок зору. У першому випадку послідовність рівнів ряду інтерпретується як реалізація деякого випадкового процесу і відповідна математична модель будується на основі апарата теорії випадкових процесів. У другому випадку вважається, що динамічний ряд складається із двох складових, перша із яких представляє собою квазидетерміновану функцію (тренд динамічного ряду) –  $\varphi_i = f(\tau_i)$ , а друга  $\varepsilon_i$  – є послідовністю незалежних, центрованих, випадкових величин, тобто

$$y_i = \varphi_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість рівнів динамічного ряду.

Математично, перша складова рівняння (1) приймається відомою з точністю до деякої сукупності невідомих параметрів  $\theta_0, \dots, \theta_q$ , що як правило лінійно входять у вираз тренду, а друга складова – є дискретним білим шумом.

У відповідності з другим підходом задача прогнозування часу утворення ОПВ на проводі ПЛЕ може бути сформульована так [5, 7]: нехай у результаті роботи вимірювального перетворювача у рівновіддалені моменти часу  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  отримані рівні  $\tau_{fr.1}, \tau_{fr.2}, \dots, \tau_{fr.n}$  динамічного ряду  $\{\tau_{fr.\tau}\}$ , також задано певний клас функцій  $L = \{\varphi(\tau; \theta)\}$  де  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_i)$  – вектор довільних параметрів. Необхідно для будь-якого моменту часу  $\tau_m > \tau_n$  знайти найкращу (у певному сенсі) оцінку  $\hat{\tau}_{fr.m} = \varphi(\tau, \theta)$  майбутнього значення ряду  $\{\tau_{fr.\tau}\}$  як функцію  $\varphi(\tau, \theta)$  наявних спостережень  $\tau_{fr.1}, \tau_{fr.2}, \dots, \tau_{fr.n}$ .

Розв'язок поставленої задачі складається з наступних етапів [8, 9]:

- попередній аналіз даних і апріорної інформації про процес ожеледоутворення;
- вибір класу структур моделей-кандидатів;
- вибір методу оцінювання моделей-кандидатів і оцінка їх параметрів;
- розрахунок значення предиканта за отриманою моделлю процесу;
- оцінка точності та надійності отриманого прогнозу.

Параметр  $\tau_{fr}$  доцільно контролювати лише при попаданні температури повітря навколо проводу повітряної лінії електропередачі у діапазон  $-6 \dots 0^\circ\text{C}$ . При цій температурі найбільш ймовірно утворення небезпечних ОПВ на проводі.

Експериментальні дані свідчать [6], що при наближенні ожеледної ситуації помітно змінюється величина рівнів ряду  $\{\tau_{fr.\tau}\}$  – з'являється спадаючий тренд. Аналіз ефективності плавок ожеледі виявив, що необхідний горизонт прогнозування  $\tau_{f.h}$  складає не менше 2 годин. Інтервал між вимірюваннями  $\Delta\tau$  параметру  $\tau_{fr}$  обмежується постійною часу нагріву проводу ПЛЕ і повинен бути мінімальним, тобто  $\tau_{f.h} > \Delta\tau$ . Прогнозна модель має розроблятися в режимі реального часу і з появою кожного нового рівня  $\tau_{fr.\tau}$  необхідно проводити її оновлення (через проміжок часу  $\Delta\tau$ ).

Можливі варіації класів моделей отримуються за результатами візуального перегляду даних. Множина членів у рівняннях вибирається у відповідності з наявним об'ємом даних. Тобто, коли спостережень багато, можливо отримати відносно точну модель, якщо об'єм даних обмежений, неможливо побудувати дуже точну модель і,

отже, рівень її складності не може бути високим [9].

При розробці математичної моделі дискретного динамічного ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$  велике значення має вибір класу функцій  $\varphi(x, \theta)$ , що використовуються для опису його детермінованої складової рівняння (1). Вдалий вибір цієї функції істотно впливає на обчислювальну простоту і точність розв'язку задачі [5].

Моделі зі стандартних параметричних класів є лише наближенням істинного процесу, але вони частково можуть відображати деякі нелінійні характеристики цього процесу, що дозволяє їм мати описову перевагу всередині вибірки над більш простими лінійними моделями. Незважаючи на це лінійні моделі володіють більшою гнучкістю. Навіть при повністю вірній специфікації нелінійної моделі із-за неточності оцінювання параметрів вона може давати прогнози більш низької якості, ніж проста лінійна модель, параметри якої оцінені точно. Це, в свою чергу, призводить до більш високої якості позавибіркового прогнозу [10].

Якщо в структурно-детермінованому динамічному ряді час тлумачити як екзогенну змінну, а рівні ряду – як значення ендогенної змінної, то формально модель (1) і модель регресії будуть еквівалентними [5]. Тоді для аналітичного опису експериментального ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$  може бути використана лінійна модель регресії

$$\tau_{fr,\tau} = \beta_0 + \beta_1\tau + \varepsilon, \quad (2)$$

де  $\tau_{fr,\tau}$  – рівень ряду у момент часу  $\tau$ ;

$\beta_0, \beta_1$  – параметри;

$\varepsilon$  – випадкове відхилення.

У рівнянні (2) параметри  $\beta_0, \beta_1$  невідомі і визначити їх неможливо із-за відсутності всіх можливих комбінацій  $\tau_{fr,\tau}$  і  $\tau$ , а величина  $\varepsilon$  змінюється при кожному новому спостереженні. Однак, замінивши параметри  $\beta_0, \beta_1$  їх оцінками  $b_0, b_1$  отримаємо лінійне рівняння тренду ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$

$$\hat{\tau}_{fr} = b_0 + b_1\tau. \quad (3)$$

При наближенні умов навколишнього середовища до природного ожеледоутворення тренд ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$  стає стрімко спадаючим [6], а гіпотеза про незалежність вартості спостережень від часу виявляється сумнівною. У цьому випадку доцільно кожному рівню ряду надати вагу  $w_i$ , де  $i=1, 2, \dots, n$ . Тоді зважені оцінки найменших квадратів  $b_0, b_1$  параметрів  $\beta_0, \beta_1$  отримуються у результаті мінімізації функції  $Q = \sum_{i=1}^n w_i (\tau_{fr,i} - \hat{\tau}_{fr,i})^2$ , якщо ж оновлення оцінок параметрів проводиться лише по  $m$  останніх точках динамічного ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$ , то вага  $i$ -го спостереження буде рівна [11]

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \in [n-m+1, n] \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases}$$

Після диференціювання  $Q$  отримаємо систему нормальних рівнянь прямої

$$\left. \begin{aligned} b_0 \sum_{i=1}^n w_i + b_1 \sum_{i=1}^n w_i \tau_i &= \sum_{i=1}^n w_i \tau_{fr,i} \\ b_0 \sum_{i=1}^n w_i \tau_i + b_1 \sum_{i=1}^n w_i \tau_i^2 &= \sum_{i=1}^n w_i \tau_i \tau_{fr,i} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Розв'язавши систему (4) отримаємо коефіцієнти  $b_0$  та  $b_1$  [12]:

$$b_0 = \bar{\tau}_{fr.w} - b_1 \bar{\tau}_w; \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (\tau_{fr.i} - \bar{\tau}_w)(\tau_i - \bar{\tau}_w)}{\sum_{i=1}^n w_i (\tau_i - \bar{\tau}_w)^2}.$$

де  $\bar{\tau}_{fr.w}$ ,  $\bar{\tau}_w$  – середні значення:  $\bar{\tau}_{fr.w} = \sum_{i=1}^n w_i \tau_{fr.i} / \sum_{i=1}^n w_i$ ,  $\bar{\tau}_w = \sum_{i=1}^n w_i \tau_i / \sum_{i=1}^n w_i$ .

Ряд  $\{\tau_{fr.\tau}\}$  має лінійний тренд (3), тоді розв'язавши систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \hat{\tau}_{fr} &= b_0 + b_1 \tau \\ \hat{\tau}_{fr} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

отримаємо прогнозний час утворення ожеледно-паморозевих відкладень на проводі

$$\hat{\tau}_{ic} = \left( -\frac{b_0}{b_1} \right)^2.$$

Для оцінки надійності отриманого значення  $\hat{\tau}_{ic}$  визначимо ліву та праву  $100(1-\alpha)\%$ -ві фідучіальні межі, відповідно,  $\tau_L$  та  $\tau_R$  [13]. На рис. 1  $\tau_L$  це  $\tau$  – координата точки перетину прямої

$$\tau_{fr} = \hat{\tau}_{ic} = 0 \tag{5}$$

і кривої

$$\tau_{fr} = b_0 + b_1 \tau_L - ts \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\tau_L - \bar{\tau})^2}{S_{xx}}}, \tag{6}$$

де  $S_{xx}$  – сума квадратів відхилень, відносно загального середнього  $S_{xx} = \sum (\tau_i - \bar{\tau})^2$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  
 $s^2$  – оцінка дисперсії відносно регресії, що базується на двох степенях свободи;  
 $t$  – звичайна відсоткова точка для  $t$  – критерію,  $t = t(v; 1 - \alpha/2)$ ;  
 $v$  – число ступенів свободи для  $s^2$ .

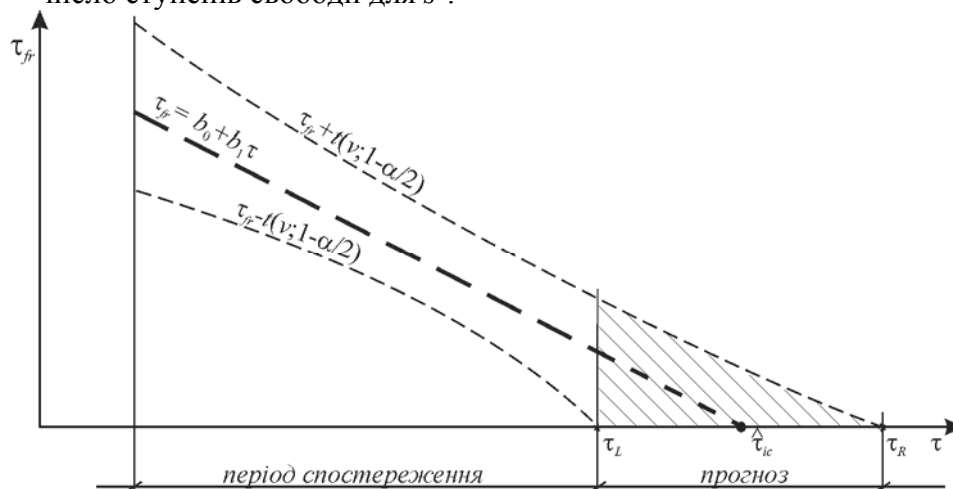


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація  $100(1-\alpha)\%$ -вих фідучіальних меж

Прирівняємо вирази (5) та (6) і після перетворень отримаємо наступне квадратне рівняння відносно  $\tau_L$

$$p\tau_L^2 + 2q\tau_L + r = 0, \quad (7)$$

де  $p, q, r$  – коефіцієнти:

$$p = b_1^2 S_{xx} - t^2 s^2; \quad q = b_0 b_1 S_{xx} + t_2 s_2 \bar{\tau}; \quad r = b_0^2 S_{xx} - t^2 s^2 \left( \frac{S_{xx}}{n} - \bar{\tau}^2 \right).$$

Для  $\tau_R$  рівняння буде аналогічне (6), отже,  $\tau_L$  та  $\tau_R$  є коренями рівняння (7)

$$\left. \begin{array}{l} \tau_L \\ \tau_R \end{array} \right\} = -\frac{q \pm \sqrt{q^2 - pr}}{p}.$$

Провівши ряд перетворень і спрощень (7), маємо

$$\left. \begin{array}{l} \tau_L \\ \tau_R \end{array} \right\} = \frac{d\bar{\tau} + \frac{b_0}{b_1} \pm \frac{ts}{b_1} \sqrt{\frac{(b_0 + b_1\bar{\tau})^2}{S_{xx} b_1^2} - \frac{d-1}{n+k}}}{d-1}, \quad (8)$$

де  $d = t^2 s^2 / (b_1^2 S_{xx})$ .

Для отримання більш загального виразу де  $\tau_{fr}$  є середнім із  $k$  спостережень у (8) проведемо заміну  $1/n$  на  $1/n + 1/k$

$$\left. \begin{array}{l} \tau_L \\ \tau_R \end{array} \right\} = \frac{d\bar{\tau} + \frac{b_0}{b_1} \pm \frac{ts}{b_1} \sqrt{\frac{(b_0 + b_1\bar{\tau})^2}{S_{xx} b_1^2} - \frac{d-1}{n+k}}}{d-1},$$

тоді при  $k=1$  отримаємо вираз для окремого, нового рівня ряду, а при  $k=\infty$  для істинного середнього значення.

Мінімальну кількість рівнів ряду необхідну для побудови рівняння тренду приблизно можливо визначити за виразом середньоквадратичної похибки лінії тренду [14]

$$s_{\hat{y}} = s_y \bar{K},$$

де  $s_y$  – середній квадрат відхилень фактичних значень від розрахункових;  
 $\bar{K}$  – деяка функція числа спостережень і періоду упередження

$$\bar{K} = \frac{s_{\hat{y}}}{s_y} = \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{3(n+2L-1)^2}{n(n^2-1)}}.$$

Параметр  $\bar{K}$  є певним критерієм похибки і виходячи із його значення можливо визначити мінімально-необхідну кількість рівнів ряду при заданому періоді упередження. Так, при упередженні прогнозу на один крок ( $L=1$ ) і не перевищенні середньоквадратичної похибки рівняння, вимірюваної в одиницях середньоквадратичного відхилення від тренду ( $\bar{K} \leq 1$ ) необхідна кількість рівнів ряду складе  $n_{\min} \approx 6$ .

Оцінка точності прогнозної моделі проводиться за фактичними значеннями прогнозованого показника. У якості оцінок точності прогнозів використані наступні:

- середня абсолютна похибка

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n |\tau_{ic} - \hat{\tau}_{ic,i}|;$$

- середня абсолютна похибка у відсотках

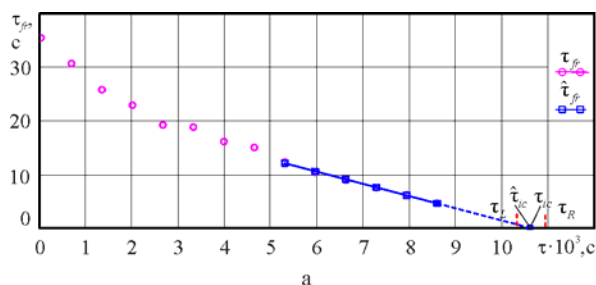
$$MAPE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\tau_{ic} - \hat{\tau}_{ic,i}}{\tau_{ic}} \right| 100\%,$$

де  $m$  – кількість прогнозів.

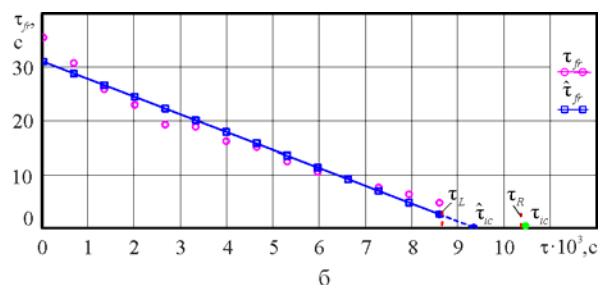
Тестування запропонованої прогнозної моделі проведено на основі експериментального дискретного динамічного ряду  $\{\tau_{fr,\tau}\}$  за умов фронтального обледеніння [6]. Для виконання порівняльного аналізу використано результати прогнозування за лінійною регресією (табл. 1, рис. 2, 3).

Таблиця 1 – Порівняння моделей за точністю прогнозування

№ прогнозу	Час упередження, с	Ковзна лінійна регресія				Лінійна регресія			
		MAE, с	MAPE, %	$\tau_L$ , с	$\tau_R$ , с	MAE, с	MAPE, %	$\tau_L$ , с	$\tau_R$ , с
1	7260	4060,1	38,4	5351,7	8597,2	4060,1	38,4	5351,7	8597,2
2	6600	3536,5	33,5	6255,0	10006,3	3812,6	36,1	5944,2	8731,4
3	5940	2876,9	27,2	7602,2	11550,4	3532,7	33,5	6492,2	9325,7
4	5280	2416,6	22,9	8299,9	11574,4	3313,6	31,4	6955,6	9359,5
5	4620	2084,2	19,7	8782,6	11399,1	3120,9	29,6	7350,6	9426,8
6	3960	1910,1	18,1	8967,0	10239,4	2943,6	27,9	7709,3	9588,0
7	3300	1727,4	16,4	9355,3	10694,7	2775,1	26,3	8042,2	9793,1
8	2640	1560,0	14,8	9521,6	11115,6	2613,4	24,7	8355,1	10020,6
9	1980	1389,9	13,2	10304,0	10922,7	2460,6	23,3	8635,6	10197,2
10	1320	1291,6	12,2	10636,6	11369,0	2311,2	21,9	8917,2	10488,0
11	660	1219,2	11,5	10794,4	11367,3	2167,8	20,5	9171,8	10640,5



а – ковзна лінійна регресія;



б – лінійна регресія

Рисунок 2 – Результати прогнозування при  $\Delta\tau = 660$  с,  $m = 11$  шт.

Із представлених результатів прогнозування видно, що при часі упередження 121 хв прогнози мають «задовільну» точність ( $20\% \leq MAPE \leq 50\%$ ), а при його

зменшенні до 80 хв – «хорошу» ( $10\% \leq MAPE < 20\%$ ), згідно класифікації [15]. Точність та надійність прогнозів покращується при наближенні термодинамічної системи «атмосферне повітря – провід» до точки природного ожеледоутворення.

**Висновки.** Розроблено адаптивну математичну модель прогнозування, що дозволяє визначати в умовах зміни структури даних час утворення ожеледно-паморозевих відкладень на проводі повітряної лінії електропередачі. Для оцінки надійності прогнозів отримано аналітичне рівняння фідучіальних меж. У результаті порівняльного аналізу якості прогнозів за середньою абсолютною похибкою та середньою абсолютною похибкою у відсотках, виявлено, що прогнози на основі ковзної лінійної регресії мають точність вищу ніж на основі лінійної регресії.

## Список літератури

1. Колмогорова И.М. Прогнозирование образования гололёда / И.М. Колмогорова, М.Ц. Цыбидоржиев, А.З. Винаров // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – № 5. – С. 13 – 15.
2. Тер-Мкртчян М.Г. Использование дискриминантного анализа для прогноза гололеда / М.Г. Тер-Мкртчян, А.И. Снитковский, Л.Е. Лукиянова // Труды Гидрометцентра СССР: сб. науч. тр. – 1971. – Вып. 90. – С. 3 – 39.
3. Колмогорова И.М. Разработка малой динамической модели прогноза гололеда / И.М. Колмогорова, М.Ц. Цыбидоржиев, А.З. Винаров // Рациональное проектирование и эксплуатация устройств сельского электроснабжения: сб. науч. тр. – Москва: Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.Г. Горячкина, 1989. – С. 55 – 58.
4. Пат. 53235 Україна МКВ7, Н 02 G7/16. Спосіб прогнозування обледеніння дротів повітряних ліній електропередач / Козловський О.А., Орлович А.Ю.; заявник і патентовласник Кіровоградський державний технічний університет. – № 2002042886; заяв. 10.04.02; опубл. 15.01.03, Бюл. № 1.
5. Чураков Е.П. Математические методы обработки экспериментальных данных в экономике / Е.П. Чураков. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 240 с.
6. Козловський О.А. Обґрунтування вибору параметру діагностування ожеледоутворення на проводах повітряних ліній розподільних електричних мереж / О.А. Козловський, А.Ю. Орлович, А.В. Некрасов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 149 – 157.
7. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В.Н. Вапник. – М.: Наука, 1979. – 447 с.
8. Бидюк П.И. Структурный анализ методик построения регрессионных моделей по временным рядам наблюдений / П.И. Бидюк, Т.Ф. Зворыгина // Управляющие системы и машины. – 2003. – №2. – С. 93 – 99.
9. Кашьяп Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао; [под ред. В.С. Пугачева]. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
10. Иццоки О. Выбор модели и парадоксы прогнозирования / О. Иццоки // Квантиль. – 2006. – №1. – С. 43 – 51.
11. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
12. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер; [пер. с англ. В.П. Носко; под ред. М.Б. Малютова]. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
13. Дрейпер Н.Р. Прикладной регрессионный анализ / Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит; [пер. с англ. М. Власенко, Р. Имамудинова]. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.
14. Чертырыкин Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Чертырыкин – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
15. Присенко Г.В. Прогнозування соціально-економічних процесів / Г.В. Присенко, Є.І. Райкович. – К.: КНЕУ, 2005. – 378 с.

**Oleksandr Kozlovskiy, lecturer, Anatolij Orlovich, Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Mathematical model predicting icing on the wires overhead lines**

The purpose of research is to develop a mathematical model of time predicting icing on wires overhead lines based on the analysis of discrete time series.

Developed adaptive forecasting model based on a rolling linear regression, allow appointing the time of ice and hoarfrost sediments formation on the transmission line wires in the changing data structures environment. For checking in assessing the reliability were founded the analytical equations of fiducial limits. As a result of benchmarking the average absolute error and mean absolute error in percentage found that forecasts based on a rolling linear regression with error in  $\approx 2$  times lower than on the basis of linear regression.

The proposed predictive model has sufficient accuracy and reliability for mathematically reasonable development on the basis of ice and hoarfrost sediments on wires overhead transmission lines technical predictive test system.

**overhead power lines, wires icing, prediction, time series**

Одержано 28.12.15

**УДК 681.5.015**

**В.О. Кондратець, проф., д-р техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*  
*E-mail:*

## Оптимізація точності прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням

Вибір пристроїв вимірювання технологічних параметрів за похибкою можливо подати як задачу оптимізації відповідно методу динамічного програмування у три стадії, у кожній з яких обирається один з засобів. В процесі оптимізації при відносній похибці вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі  $\pm 3,0\%$  відносна максимальна похибка прогнозування співвідношення руда/вода склала  $1,72\%$  при визначенні витрати руди і води в млин з похибкою  $\pm 1,0\%$  порівняно з допустимою  $\pm 3,0\%$ .

**кульовий млин, співвідношення руда/вода, прогнозування, точність, оптимізація**

**В.А. Кондратец, проф., д-р техн. наук, А.Н. Сербул, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*  
**Оптимизация точности прогнозирования соотношения руда/вода в шаровой мельнице с циркулирующей нагрузкой**

Выбор устройств измерения технологических параметров по ошибке возможно представить как задачу оптимизации в соответствии с методом динамического программирования в три стадии, в каждой из которых выбирается одно из средств. В процессе оптимизации при относительной погрешности измерения расхода пульпы в песковом желобе  $\pm 3,0\%$  относительная максимальная погрешность прогнозирования соотношения руда/вода составила  $1,72\%$  при определении расхода руды и воды в мельницу с погрешностью  $\pm 1,0\%$  сравнительно с допустимой  $\pm 3,0\%$ .

**шаровая мельница, соотношение руда/вода, прогнозирование, точность, оптимизация**

**Постановка проблеми.** Металургійна галузь України споживає значну частку сировини, яка отримана в процесах збагачення бідних залізних руд. У збагачувальній галузі для подрібнення руди крупністю 0...25 мм широко використовують кульові млини, що працюють у замкненому циклі з механічним спіральним класифікатором. На подрібнення руд споживається понад 50% загальних витрат електроенергії, призначеної для отримання кінцевої продукції – концентрату. Крім того, витрачається

значна кількість куль і футеровки. Найкращий вихід готового продукту забезпечують кульові млини за умов підтримання певного співвідношення руда/вода в конкретних технологічних ситуаціях. В наслідок неможливості ефективного ручного регулювання та відсутності автоматичних засобів керування цей параметр не підтримується на заданих рівнях, а кульові млини перевитрачають значну частку електричної енергії, куль і футеровки, що підвищує собівартість залізородних концентратів, знижує їх конкурентоспроможність. Такий стан склався в наслідок того, що відсутні технічні засоби автоматичного прогнозування співвідношення руда/вода у кульовому млині. В той же час це не відповідає вимогам законодавства України щодо впровадження ресурсозберігаючих технологій і, зокрема, Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р., затвердженої наказом міністра промислової політики України № 152 від 25.02.2009 року, в частині гірничо-металургійного комплексу. Конкретно на розв'язання даної задачі спрямована наукова тема "Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням" (0105U008334). Враховуючи, що дана стаття присвячена розв'язанню задачі підтримання розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням, її тема є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розв'язанню даної задачі приділяли значну увагу як в Україні, так і закордоном. Запропоновано кілька підходів та систем керування, наприклад [1]. Низька точність, велике транспортне запізнювання та інші причини не дозволили реалізувати розроблені пристрої. Вади, притаманні розробленим пристроям, відсутні у підході прогнозування [2] та способі стабілізації співвідношення руда/вода [3], запропонованих авторами даної статті. Виконано обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням [4], здійснено підвищення точності стохастичної системи автоматичного керування розрідженням пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів [5]. Крім того, на результат прогнозування розрідження пульпи у кульовому млині впливає точність вимірювання технологічних параметрів, серед яких об'ємну витрату пульпи у піщовому жолобі не можливо визначити з достатньо високою точністю. В роботі [6] показано, що найкращі результати при прогнозуванні співвідношення руда/вода можливо отримати шляхом оптимізації точнісних характеристик за параметрами, які входять до складу математичної моделі прогнозування [2]. Однак задача досягнення необхідної точності прогнозування співвідношення руда/вода оптимальним підбором точнісних характеристик вимірювальних засобів не розв'язувалася.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є пошук найкращого поєднання точності пристроїв вимірювання технологічних параметрів для забезпечення допустимої похибки прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині, що подрібнює вихідну руду з пісками механічного спірального класифікатора.

**Виклад основного матеріалу.** Прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням визначається рядом параметрів, зокрема, - це вологовміст пісків класифікатора  $K_W$ , густина руди  $\delta_p$ , об'ємна витрата води в піщовий жолоб класифікатора  $Q_{VBG}$ , масова витрата руди  $Q_p$  і води  $Q_{\text{вм}}$  в млин, об'ємна витрата пульпи в піщовому жолобі класифікатора  $Q_{Vp}$ . Похибка визначення кожного з цих параметрів впливає на точність ідентифікації співвідношення руда/вода. В процесі прогнозування параметри  $K_W$ ,  $\delta_p$ ,  $Q_{VBG}$  є незмінними і практично не впливають на процес прогнозування. Тому результат прогнозування в основному буде визначатись змінними  $Q_p$ ,  $Q_{\text{вм}}$  і  $Q_{Vp}$ . Складність прогнозування полягає в тому, що виміряти об'ємну витрату пульпи у піщовому жолобі класифікатора з достатньо

високою точністю практично не можливо. Найкращі результати можливо отримати, коли одночасно враховується вплив на точність визначення співвідношення руда/вода усіх факторів. Аналіз показав, що для розв'язання даної задачі оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування [7, 8].

Зважаючи на те, що в процесах збагачення похибка інформаційних засобів може бути прийнятою на рівні  $\pm 3,0\%$  [9], критерій оптимальності встановимо на рівні  $J = \delta_{K(p/\epsilon)}, \% \leq 3,0\%$ , де  $\delta_{K(p/\epsilon)}$  – відносна похибка прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині. Подамо критерій оптимальності у вигляді аналітичного виразу. За базове значення співвідношення руда/вода  $K_{(p/\epsilon)\epsilon}$  приймемо значення, що знайдене за виразом математичної моделі прогнозування при усіх параметрах, які визначені без похибок, тобто

$$K_{(p/\epsilon)\epsilon} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (1)$$

де  $A_\epsilon = \delta_p \delta_\epsilon / (\delta_p + k_W \delta_p)$  – сталий коефіцієнт для певної руди;  
 $\delta_\epsilon$  – густина води.

Індекс "ε" означає величину, знайдену без похибки.

При вимірюванні будь-якого з вхідних параметрів будемо вносити похибку. Виміряні з похибкою параметри позначимо  $Q'_p$ ,  $Q'_{\epsilon m}$ ,  $Q'_{Vp}$ . При врахуванні параметра, знайденого з похибкою, будемо мати похибку у визначенні співвідношення руда/вода. Позначимо ці параметри стану відповідно через  $K_{(p/\epsilon)p}$ ,  $K_{(p/\epsilon)\epsilon m}$ ,  $K_{(p/\epsilon)Vp}$ . З врахуванням введених позначень вирази для певних параметрів стану приймуть наступний вигляд

$$K_{(p/\epsilon)p} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q'_p}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (2)$$

$$K_{(p/\epsilon)\epsilon m} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q'_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (3)$$

$$K_{(p/\epsilon)Vp} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBG\epsilon})]}. \quad (4)$$

Абсолютна похибка визначення співвідношення руда/вода буде дорівнювати

$$\Delta K_{p/\epsilon} = [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)p}] + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)\epsilon m}] + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)Vp}], \quad (5)$$

або

$$\Delta K_{p/\epsilon} = 3K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \sum_{i=1}^3 K_{(p/\epsilon)i}. \quad (6)$$

Відносні похибки визначення співвідношення руда/вода будуть дорівнювати

$$\delta K_{(p/\epsilon)p} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)p}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$\delta K_{(p/\epsilon)\epsilon m} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon m}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

$$\delta K_{(p/\epsilon)Vp} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)Vp}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Відносна похибка визначення співвідношення руда/вода буде мати наступний вигляд

$$\delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} = \frac{100}{K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \sqrt{[K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)p}]^2 + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)\epsilon m}]^2 + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)Vp}]^2}. \quad (10)$$

У виразах (5)...(10) параметри з похибкою відповідно дорівнюють

$$Q'_p = Q_p \pm \frac{Q_p \cdot \Delta Q_p}{100}, \quad (11)$$

$$Q'_{\epsilon m} = Q_{\epsilon m} \pm \frac{Q_{\epsilon m} \cdot \Delta Q_{\epsilon m}}{100}, \quad (12)$$

$$Q'_{Vp} = Q_{Vp} \pm \frac{Q_{Vp} \cdot \Delta Q_{Vp}}{100}. \quad (13)$$

Оскільки рівняння (10) враховує окремі складові похибки прогнозування, то процес можливо розглядати як незалежні три стадії оптимізації, в яких отримують окремі результати в чисельному значенні. Загальний критерій оптимальності буде дорівнювати сумі відповідних показників у кожній стадії, знайдених за виразом (10).

Здійснимо оптимізацію процесу постадійно. Повна математична модель об'єкта оптимізації описується наступним рівнянням

$$K_{p/\epsilon} = \frac{\delta_p \cdot [(Q_{Vp} - Q_{VBG}) + Q_p] / (1 + K_W \delta_p / \delta_\epsilon)}{Q_{\epsilon m} + Q_{\epsilon G} + K_W \delta_p (Q_{Vp} - Q_{VBG}) / (1 + K_W \delta_p / \delta_\epsilon)}, \quad (14)$$

у якому

$$K_{(p/\epsilon)z} = const, \quad (15)$$

$$Q_{VBG} = const, \quad (16)$$

$$Q_{cn} = (100 \div 300)\% \cdot Q_p, \quad (17)$$

$$Q_{Vp} = Q_{VBG} + \frac{Q_{cn}}{\delta_T} + K_W \frac{Q_{cn}}{\delta_\epsilon}, \quad (18)$$

$$\gamma = \delta_\epsilon \delta_p \cdot \frac{K_{(p/\epsilon)z} + 1}{\delta_p + K_{(p/\epsilon)z} \cdot \delta_\epsilon}, \quad (19)$$

$$Q_{m\epsilon m} = \frac{(\delta_p - \gamma)}{(\gamma - \delta_\epsilon)} \cdot \frac{\delta_\epsilon}{\delta_p} (Q_p + Q_{cn}), \quad (20)$$

$$Q_{\epsilon \Sigma} = \frac{Q_{m\epsilon m}}{\delta_\epsilon}, \quad (21)$$

$$Q_{\epsilon m} = Q_{\epsilon \Sigma} - Q_{VBG} - K_W \cdot \frac{Q_{cn}}{\delta_\epsilon}, \quad (22)$$

де  $K_{(p/\epsilon)z}$  – задане значення співвідношення руда/вода;

$Q_{\epsilon \Sigma}$  - сумарна об'ємна витрата води, що поступає до кульового млина;

$Q_{m\epsilon m}$  - сумарна масова витрата води, що поступає до кульового млина.

Дані рівняння описують блок прогнозування співвідношення руда/вода стосовно усіх його параметрів, об'єднаних залежністю (14). При зміні витрати руди  $Q_p$  автоматично приймають певні значення  $Q_{vp}$  і  $Q_{em}$ . Рівняння (15)...(22) дозволяють відшукувати  $Q_{vp}$  і  $Q_{em}$ , які встановлюються в циклі подрібнення руди.

Оптимізація першої стадії зводиться до вибору засобу вимірювання витрати руди, що поступає до кульового млина. Її можливо здійснити з врахуванням конкретного режиму роботи циклу подрібнення вихідної руди. Найбільш імовірним чи типовим можливо рахувати режим роботи при наступних значеннях параметрів:  $Q_p = 240$  т/год;  $K_{(p/e)z} = 4,3$ ;  $K_W = 0,12$ ;  $\delta_p = 3,3$  т/м<sup>3</sup>;  $\delta_g = 1,0$  т/м<sup>3</sup>;  $Q_{VBG} = 24,3$  т/год;  $Q_{cn} = 125\%$   $Q_p$ . При прийнятих значеннях параметрів визначимо  $K_{(p/e)p}$ . Раніше визначимо  $Q_{vpe} = 151,21$  м<sup>3</sup>/год, об'ємна витрата води у кульовий млин  $Q_{vp} = 65,28$  м<sup>3</sup>/год. Дані розрахунків заносимо до табл. 1.

З даних табл. 1 слідує, що при збільшенні похибки вимірювання витрати руди в кульовий млин виникає похибка у визначенні співвідношення руда/вода, але вона менша за величиною похибки вимірювання. Базова величина тут буде при похибці вимірювання, що дорівнює нулю (табл. 1). Найкращі результати будуть отримані при максимально зменшеній похибці вимірювання. Конвеєрні ваги можуть забезпечити похибку вимірювання витрати руди на рівні одного відсотка. Тому приймемо для вимірювання витрати руди конвеєрні ваги класу  $\pm 1,0$ . При цьому критерій оптимальності в першій стадії оптимізації складе  $\Delta K_{p/e} = 0,02$ .

Таблиця 1 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати руди  $Q_p = 240$  т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, т/год	0	±1,2	±2,4	±3,6	±4,8	±6,0	±7,2	±8,4	±9,6	±10,8	±12,0
Найменше значення витрати $Q_{p min}$ , т/год	240	238,8	237,6	236,4	235,2	234,0	232,8	231,6	230,4	229,2	228,0
Найбільше значення витрати $Q_{p max}$ , т/год	240	241,2	242,4	243,6	244,8	246,0	247,2	248,4	249,6	250,8	252,0
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{p min}$	4,3	4,291	4,281	4,271	4,262	4,252	4,243	4,233	4,224	4,214	4,204
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{p max}$	4,3	4,31	4,319	4,329	4,338	4,348	4,357	4,367	4,377	4,386	4,396
Відхилення $K_{p/e}$	0	0,01	0,02	0,03	0,038	0,048	0,057	0,067	0,077	0,086	0,096

Оптимізацію другої стадії проведемо стосовно вимірювання витрати води в кульовий млин. Дані розрахунків наведемо в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати води при  $Q_p = 240$  т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м <sup>3</sup> /год	0	±0,3264	±0,6528	±0,9792	±1,3056	±1,632	±1,9584	±2,2848	±2,6112	±2,9376	±3,264
Найменше значення витрати $Q_{вм\ min}$ , м <sup>3</sup> /год	65,28	64,954	64,672	64,301	63,974	63,648	63,322	62,995	62,669	62,342	62,013
Найбільше значення витрати $Q_{вм\ max}$ , м <sup>3</sup> /год	65,28	65,606	65,933	66,259	66,586	66,912	67,238	67,565	67,891	68,218	68,544
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{вм\ min}$	4,3	4,311	4,321	4,334	4,345	4,357	4,368	4,38	4,391	4,403	4,415
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{вм\ max}$	4,3	4,289	4,278	4,267	4,256	4,245	4,234	4,223	4,212	4,202	4,191
Відхилення $K_{p/v}$	0	0,011	0,021	0,034	0,045	0,057	0,068	0,08	0,091	0,103	0,115

З даних таблиці видно, що при зростанні похибки вимірювання витрати води похибка визначення співвідношення руда/вода також зростає. У даному випадку, як і для визначення витрати руди, зміна  $K_{p/v}$  відбувається у меншій мірі порівняно з похибкою вимірювання витрати води. Зміна критерію оптимальності на другій стадії відбувається на  $\Delta K_{p/v} = 0,021$  для витратоміра з похибкою вимірювання  $\pm 1,0$  %.

Оптимізація третьої стадії буде стосуватись вибору витратоміра пульпи у пісковому жолобі. Виконаємо також розрахунки при зміні витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора. Дані розрахунків занесемо до табл. 3.

Таблиця 3 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора при  $Q_p = 240$  т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м <sup>3</sup> /год	0	±0,7561	±1,5121	±2,2682	±3,0242	±3,7803	±4,5363	±5,2924	±6,0484	±6,8045	±7,5605
Найменше значення витрати $Q_{vp\ min}$ , м <sup>3</sup> /год	151,21	150,454	149,698	148,942	148,186	147,43	146,674	145,918	145,162	144,406	143,65
Найбільше значення витрати $Q_{vp\ max}$ , м <sup>3</sup> /год	151,21	151,966	152,722	153,478	154,234	154,99	155,746	156,502	157,258	158,015	158,771

Продовження таблиці 3

Значення $K_{p/v}$ для $Q_{Vp\ min}$	4,3	4,293	4,286	4,279	4,272	4,265	4,258	4,251	4,244	4,237	4,23
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{Vp\ max}$	4,3	4,307	4,314	4,321	4,327	4,334	4,341	4,348	4,354	4,361	4,368
Відхилення $K_{p/v}$	0	0,007	0,014	0,021	0,027	0,034	0,041	0,048	0,054	0,061	0,068

Аналіз даних табл. 3 показує, що у цьому випадку спостерігаються аналогічні встановленим раніше тенденції зміни величини. Різниця полягає лише в тому, що відсутні точні засоби вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі. Витратомір пульпи у пісковому жолобі забезпечує похибку вимірювання, яка не нижче  $\pm 3,0\%$ . В зв'язку з цим на даній стадії оптимізації критерій оптимальності збільшується на саму значну величину, яка становить  $\Delta K_{p/v} = 0,041 \dots 0,068$ . Сумарне значення критерію оптимальності складає ще більшу величину. Відносна максимальна помилка визначення співвідношення руда/вода дорівнює 0,0739, або 1,72% порівняно з базовою величиною, що не перевищує його граничне значення  $\pm 3,0\%$ .

**Висновки.** Таким чином, завдяки оптимізації процесу прогнозування співвідношення руда/вода на вході кульового млина за рахунок найкращого вибору за похибкою існуючих інформаційних засобів вдалося досягти при порівняно низькій точності вимірювання об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора достатньо високої точності визначення  $K_{p/v}$ . Відносна максимальна похибка прогнозування співвідношення руда/вода складає 1,72%, що не перевищує її граничного значення  $\pm 3,0\%$ .

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки блока прогнозування співвідношення руда/вода з високими технічними характеристиками при порівняно низькій точності вимірювання технологічних параметрів.

## Список літератури

1. А.с. 1563757 СССР, МКИ В02С 25/00. Способ регулирования соотношения расходов потоков твердой и жидкой фаз в загрузке мельницы /Г.Г. Кононенко, В.В. Дядюра, В.Г. Дейнега, Ю.М. Кайгородцев (СССР). - № 4459214/23-33; заявл. 21.06.88; опубл. 15.09.90, Бюл. № 18.
2. Кондратець В.О. Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2006. – Вип. 17. – С. 265-272.
3. Пат. 59644 Україна, МКВ 7 В 03 б 11/00, В 02 с 25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням /Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – № 2002118758; заявл. 15.11.02; опубл. 15.04.05, Бюл. № 4.
4. Кондратець В.О. Обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Вісник Криворізького нац. ун-ту: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 34. – С. 45-50.
5. Кондратець В.О. Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів /В.О. Кондратець, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2010. – Вип. 23. – С. 78-84.
6. Сербул О.М. Обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням /О.М. Сербул, В.О. Кондратець // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2009. – Вип. 22. – С. 24-28.
7. Дегтярев Ю.И. Исследование операций /Дегтярев Ю.И. – М.: Высшая школа, 1986. – 320 с.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций /Вентцель Е.С. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.

9. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / [Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С., Гейзенблейзен Б.Е., Гуленко Г.В.]. – М.: Недра, 1968. – 227 с.

**Vasily Kondratets, Prof., DSc., Alexander Serbul, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Optimization of forecasting accuracy ratio ore/water in a ball mill with a circulating load**

The purpose of the article is a search for the best combination of precision instruments for the margin of error prediction liquefaction.

The ratio of the ore/water predict possible in accordance with this algorithm on the measured parameters - ore and water consumption in a ball mill, a volume flow of ore and water in a ball mill, a volume flow of sand in sand classifier chute. The measurement error of each parameter introduces an error in the final result. he task is complicated by the fact that the volumetric flow of sand in the sand chute accurately measure is not possible, which significantly reduces the result of forecasting where the measurement error or most approximates the boundary permissible value of  $\pm 3,0\%$  for the ratio of ore/water. Selection device for measuring process parameters of error may be represented as the optimization problem by the method of dynamic programming in three stages, each of which selects one means.

In the process of optimizing the relative error of flow measurement in sand chute  $\pm 3,0\%$ , the maximum relative error of prediction ratio of ore / water amounted to 1.72% as determined by the flow of ore and water in the mill with an accuracy of  $\pm 1,0\%$  compared with the allowable  $\pm 3\ 0\%$ .

**ball mill, the ratio of ore/water, forecasting, accuracy, optimization**

Одержано 08.10.15

**УДК 621.311.1: 621.316.37**

**А.І. Котиш, доц., канд. техн. наук, П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук,**

**А.Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: akotysh@gmail.com*

**А.В. Некрасов, доц., канд. техн. наук**

*Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук, Україна*

## **Розробка та експериментальне дослідження фіксатора коротких замикань для повітряних електричних мереж напругою 110 – 150 кВ**

На основі аналізу схеми нормального режиму мережі 150 кВ ПАТ «Кіровоградобленерго» встановлено, що існує ряд підстанцій, де встановлення фіксаторів короткого замикання просто необхідно. Вибрано оптимальний варіант конструкції фіксатора короткого замикання, розроблено його кінематичну схему, визначено зв'язки між переміщеннями частин механізму приладу та виконано його силовий розрахунок. Розроблено конструкцію фіксатора короткого замикання, виконано його розрахунок магнітної системи, що дозволило побудувати вебер-амперні та тягові характеристики приладу. Проведено експериментальні дослідження та лабораторні випробування фіксатора короткого замикання. В результаті чого визначено пороги спрацьовування пристрою в функції струму та часу, побудовано його характеристики. Експериментом підтверджено повну придатність приладу для роботи в реальних умовах.

**лінія електропередач, коротке замикання, електрична мережа, фіксатор, ізоляція**

© А.І. Котиш, П.Г. Плешков, А.Ю. Орлович, О.І. Сіріков, А.В. Некрасов, 2016

**А.И. Котыш доц., канд. техн. наук, П.Г. Плешков проф., канд. техн. наук, А.Е. Орлович проф., канд. техн. наук, А.И. Сириков доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**А.В. Некрасов доц., канд. техн. наук**

*Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского, г. Кременчуг, Украина*

### **Разработка и экспериментальные исследования фиксатора коротких замыканий для воздушных электрических сетей напряжением 110-150 кВ**

На основе анализа схемы нормального режима сети 150 кВ ПАО «Кировоградоблэнерго» установлено, что существует ряд подстанций, где установка фиксаторов короткого замыкания просто необходимо. Выбран оптимальный вариант конструкции фиксатора короткого замыкания, разработана его кинематическая схема, определены связи между перемещениями частей механизма прибора и выполнен его силовой расчет. Разработана конструкция фиксатора короткого замыкания, выполнен расчет его магнитной системы, что позволило построить вебер-амперные и тяговые характеристики прибора. Проведены экспериментальные исследования и лабораторные испытания фиксатора короткого замыкания. В результате чего определены пороги срабатывания устройства в функции тока и времени, построены его характеристики. Экспериментом подтверждено полную пригодность прибора для работы в реальных условиях.

**линия электропередачи, короткое замыкание, электрическая сеть, фиксатор, изоляция**

**Постановка проблеми.** Визначення місця пошкодження (ВМП) є найбільш складною, а як правило й найбільш тривалою технологічною операцією по встановленню пошкодженої частини мережі. Це повсякденна оперативна задача диспетчерських служб електричних мереж та систем. В мережах середньої електричної системи річна кількість пошкоджень складає сотні, а в абонентських мережах, що живляться від них – тисячі випадків [1]. Витрати на ВМП складають значну частину експлуатаційних коштів в електричних мережах, в той час як доля витрат на пристрої для ВМП в загальних капітальних витратах відносно мала.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для ВМП суттєве значення має розподіл пошкоджень по конструктивним елементам та причинам виникнення. В табл. 1 наведені дані про аварійні відключення згідно досліджень [1, 2] для ліній електропередач (ЛЕП) 110-750 кВ.

Таблиця 1 – Статистичні дані причин пошкоджень на ЛЕП

<b>Причина пошкодження</b>	<b>Кількість випадків %</b>
Пошкодження та руйнування ізоляції	57
Перекриття з проводу на тіло опори	3,8
Перекриття на проїзджаючи високогабарітні машини і механізми	3,3
Обрив та провисання грозозахистних тросів	3,1
Падіння проводу на землю	2,4
Накиди на проводи сторонніми особами	1,8
Перекриття на розташовані на трасі дерева	1,6
Інші причини	27

В теперішній час розроблено різні типи фіксуєючих пристроїв, ряд з котрих успішно експлуатується. Так наприклад широке запровадження знайшли пристрої типу ФІП (ФІП-1, ФІП-2, ФІП-Ф), ЛІФП та інші. Враховуючи, що фіксуєючі прилади забезпечують автоматичний вимір і фіксацію електричних величин під час короткого

замикання, вони повинні задовольняти певним вимогам, зокрема наступним: вимір необхідно закінчити до початку відключення пошкоджених ділянок лінії від релейного захисту, тобто протягом порядку 0,1 с, прилад повинен зберігати значення зафіксованої електричної величини протягом часу, достатнього для прибуття на підстанцію (без постійного чергування) оперативної виїзної бригади, тобто не менше 4 ч, повинен передбачатися автоматичний селективний запуск приладів, щоб контрольована величина була зафіксована лише при аварійних відключеннях ліній, прилад повинен забезпечувати певну точність виміру (зазвичай відносна погрішність виміру не повинна перевищувати 5 %) і так далі.

Тобто для виявлення та пошуку місця короткого замикання (КЗ) потрібен цілий комплекс пристроїв, в котрі повинні входити: релейний захист для фіксації пошкоджень і відключення пошкодженої зони; пристрої дистанційного вимірювання (ПДВ) для локалізації зони пошуку в межах виділеної ділянки та інші. Та навіть вони, в лініях з великою кількістю довгих відгалужень (рис. 1), не в змозі вказати на конкретне відгалуження з місцем КЗ. Щоб визначити дійсне місце КЗ, слід додатково встановлювати на відгалуженнях фіксатори короткого замикання (ФКЗ). Це призведе до значної ефективності пошуку місця КЗ.

Існує декілька відомих конструктивних рішень ФКЗ. В основному вони діють на індукційному принципі вимірювання струму. Суть цього принципу полягає в тому, що на деякій відстані від проводу розміщується індукційний датчик у вигляді котушки з осердям. ЕРС, яка наводиться в котушці, в залежності від значення струму в проводі, в електричній схемі перетворюється в вихідний сигнал потрібної величини.

Наявність в цих показниках КЗ електронних схем знижує їх надійність, враховуючи тяжкі атмосферні умови, в яких вони працюють. Крім того, встановлення і перевірка таких показників дуже складний процес, зв'язаний з необхідністю встановлення їх на опорі під напругою, або з відключенням лінії. Тому для вирішення цієї задачі, зроблена спроба йти по шляху використання простого електромеханічного ФКЗ, в якому електричним елементом практично є тільки самий провід повітряної лінії. Встановлення такого фіксатора може проводитись без зняття напруги безпосередньо на самому проводі [3].

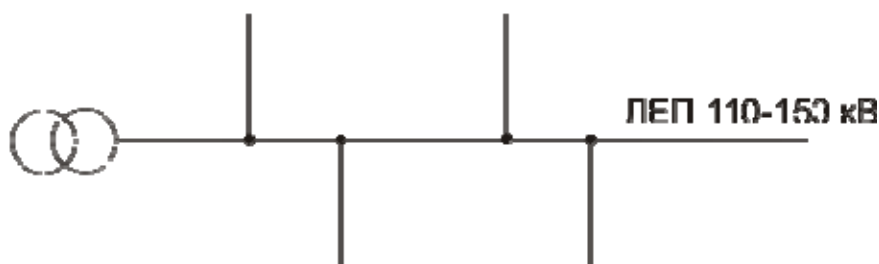


Рисунок 1 – Схема лінії електропередач з відгалуженнями

**Постановка завдання.** Метою статті є підвищення надійності роботи повітряних електричних мереж напругою 110-150 кВ шляхом застосування спеціально розробленого пристрою ФКЗ.

**Виклад основного матеріалу.** Для подальшого дослідження було використано схему нормального режиму мережі 150 кВ ПАТ Кіровоградобленерго. Проаналізувавши конфігурацію мережі можливо зробити висновок про те, що існує певна кількість підстанцій, що отримують живлення по лініях, які власне є глухими відгалуженнями і де встановлення ФКЗ просто необхідно. В табл. 2 наведено назви зазначених підстанцій, ліній що їх живлять та струми короткого замикання в кінці ліній.

Таблиця 2 – Перелік підстанцій, що живляться глухими відгалуженнями

Назва п/ст	Живляча лінія	Мін. струм к.з. (кА)
Центральна	Л13к/1, Л14к/1	6,327
Липняжка	Л38к/1	1,57
Геолог	Л32к/2	4,2
Н.Миргород	Л32к	2,7
ЗЧМ	Л95/1, Л96/1	5,3
Шаровка-тяг	Л11к	3,05
Жилпоселок	Л86к/1, Л85к/1	1,542
Янтарна	Л44к	5,6

Таким чином для даної мережі можливо вибрати уставки спрацьовування пристроїв ФКЗ. Згідно табл. 2 мінімальний струм КЗ в кінці ліній, які по суті є відгалуженнями від основних, складає 1,542 кА, тобто струм спрацьовування пристроїв ФКЗ, що розробляються, повинен бути  $I_{\min} \geq 1,5 \text{ кА}$ .

Фіксатор повинен встановлюватися на фазному проводі в будь-якому зручному для спостереження місці, однак для зменшення механічного впливу (вібрацій, коливань, поштовхів від поривів вітру) доцільно встановлювати його біля опори між віброгасником і ізолятором або замість віброгасника. Найбільш простою і надійною є використання кінематичної схеми приведеної на рис. 2 [3].

Працює ФКЗ таким чином. При проходженні струму по проводу, навколо останнього утворюється магнітне поле, величина якого, тобто магнітний потік  $\Phi$ , залежить від величини струму. При досягненні магнітним потоком величини достатньої для притягування якоря електромагніта, останній притягується, тягнучи за собою храповий механізм. Храповик повертається навколо своєї вісі і своїм важелем повертає "зірочку" до її упора зубцем в храповик. В цьому положенні механізм фіксатора залишається поки по проводу протікає струм КЗ. В результаті дії струму КЗ спрацьовує релейний захист і відключає пошкоджену лінію. Струм припиняється і якорь електромагнітна під дією пружини повертається в початкове положення. При цьому храповик своїм другим важелем підіжме "зірочку" до упора зубцем в цей важіль. Тобто "зірочка", а значить і стрілка, повернуться на кут  $60^\circ$  вперед і зафіксуються в цьому положенні, при цьому відбудеться відлік на наступну одиницю.

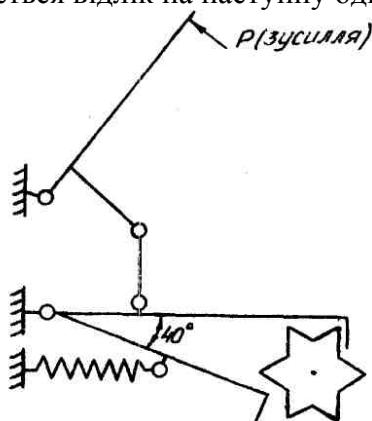


Рисунок 2 – Запропонована кінематична схема ФКЗ

Для вибору конструкції пристрою зроблена спроба йти по шляху використання простого електромеханічного ФКЗ, в якому електричним елементом практично є тільки самий провід повітряної лінії. Встановлення такого фіксатора може проводитись без зняття напруги безпосередньо на самому проводі.

Зручність і достовірність візуального отримання інформації забезпечується вибором оптимальною розміру і форми корпусу ФКЗ і відповідно розмірами інформаційних елементів. Інформаційним елементом править циферблат з нанесеними на ньому цифрами і вказівною стрілкою. Вибрана кількість цифр від 0 до 5 забезпечує, як оптимальну конструкцію рахункового механізму. Зручність і простота настройки пристрою досягається таким чином: плавне регулювання струму спрацьовування на самому ФКЗ здійснюється простим натягненням зворотної пружини. Крім того регулювання струму спрацьовування можливо проводити і ступінчасто, шляхом зміни кількості кріпильних дужок. Цим досягається зміна величини магнітного потоку розсіювання, що в свою чергу змінює тягове зусилля електромагніта.

На основі розрахунків магнітної провідності, намагнічуючої сили було побудовано тягові та вебер-амперні характеристики пристрою, що в свою чергу дало змогу вибрати оптимальні конструктивні геометричні розміри магнітної системи фіксатора. На рис. 3 представлена зовнішня частина магнітної системи ФКЗ, (а) та внутрішня (б).

Суть експериментальних досліджень даної роботи полягає у визначенні експериментальним шляхом порогів спрацьовування пристрою в функції струму ( $I$ ) та часу ( $t$ ) в залежності від кількості кріпильних дужок. Роботи проводилися на лабораторному релейному стенді, призначеному для перевірки, зняття характеристик і настроювання на задані параметри різних пристроїв релейного захисту, автоматики, електричних апаратів.

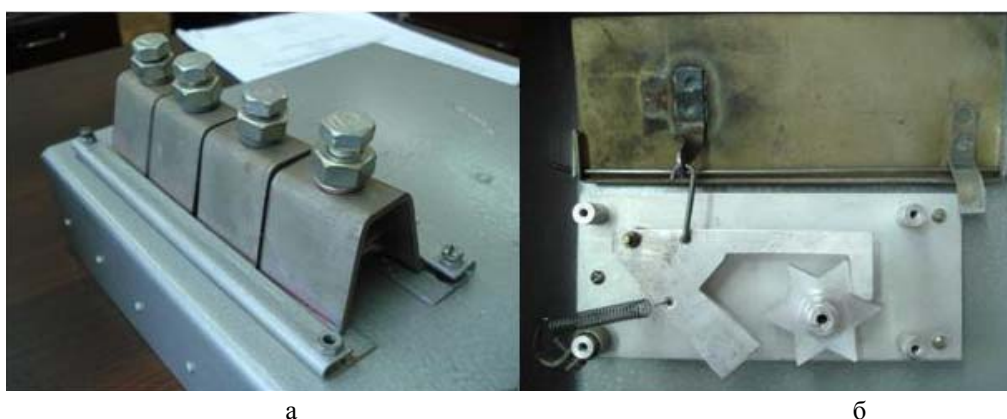


Рисунок 3 – Зовнішня (а) та внутрішня (б) частини магнітної системи ФКЗ

Для одержання необхідних результатів в ході експерименту, на стенді була зібрана схема (рис. 4).

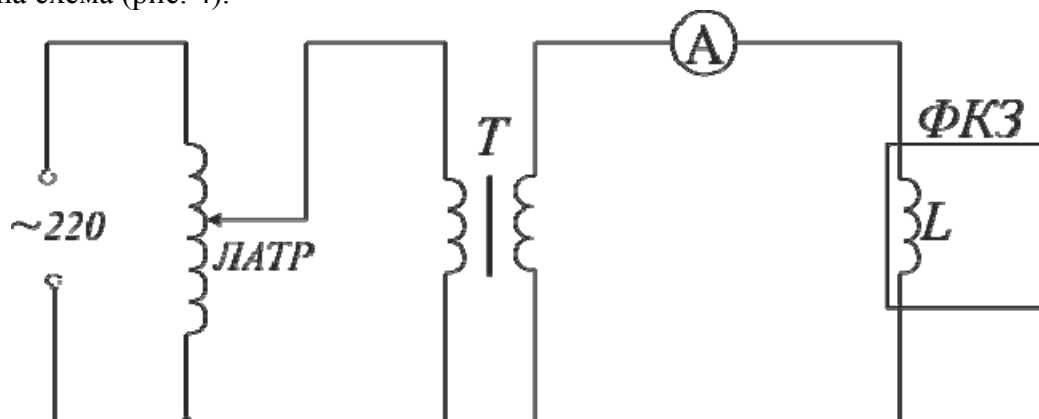


Рисунок 4 – Електрична схема експериментальної установки для випробувань ФКЗ

де  $T$  – розділювальний трансформатор;

$L$  – котушка індуктивності (50 витків), на якій закріплений фіксатор за допомогою кріпильних дужок. Необхідна для створення магнітного потоку величини достатньої для спрацьовування пристрою. За допомогою згаданої котушки досягається ефект дії на пристрій струмів к.з. величиною до 3000 А.

Перший цикл дослідів дозволив отримати залежність струму спрацьовування  $I_{спр.}$  від кількості дужок (скоб), розміщених на пристрої. Результати зведено в табл. 3 на основі яких побудовано графік (рис. 5).

Таблиця 3 – Результати експерименту першого циклу дослідів

№ досліду	4 скоби	3 скоби	2 скоби	1 скоба
	Струм, А			
1	945	1025	1200	1625
2	937,5	1037,5	1200	1600
3	937,5	1012,5	1212,5	1625
Середнє	940	1025	1204	1617

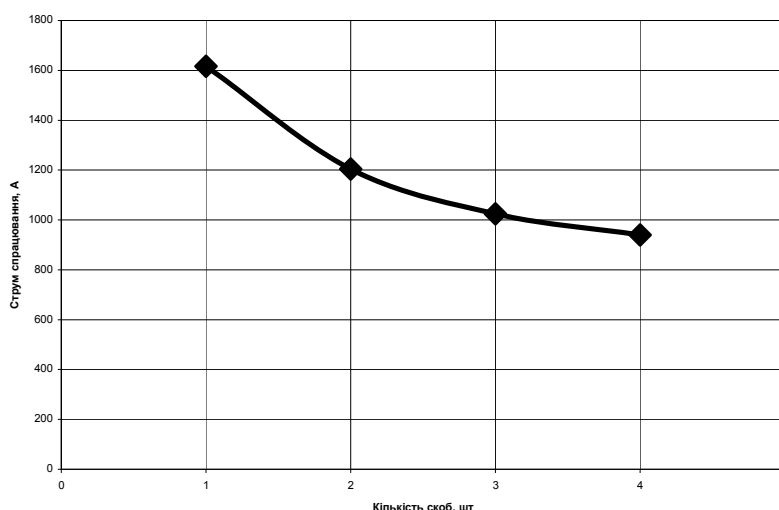


Рисунок 4 – Залежність струму спрацьовування ФКЗ від кількості кріпильних дужок (скоб)

Необхідність проведення другого циклу дослідів була викликана потребою побудови часо-струмової характеристики ФКЗ та перевірки пристрою на чутливість при різних струмах к.з. в мережі та кількості скоб. Результати експериментів зведено в табл. 4, а графічне зображення на рис. 5.

Таблиця 4 – Результати експерименту другого циклу дослідів

	1 скоба		2 скоби		3 скоби		4 скоби	
	Струм, А	Час, с	Струм, А	Час, с	Струм, А	Час, с	Струм, А	Час, с
1	1600	0,12	1200	0,13	1040	0,12	950	0,13
2	1760	0,09	1320	0,08	1144	0,08	1045	0,09
3	1920	0,06	1440	0,06	1248	0,06	1140	0,06
4	2080	0,06	1560	0,06	1352	0,05	1235	0,06
5	2240	0,05	1680	0,05	1456	0,05	1330	0,05

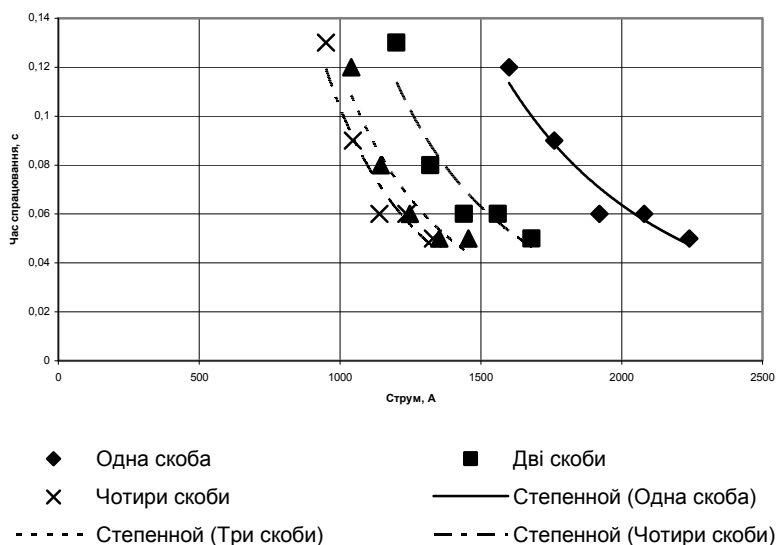


Рисунок 5 – Залежність часу спрацювання ФКЗ від струму к.з. при різній кількості кріпильних дужок (скоб)



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд лабораторної установки

### Висновки:

1. Впровадження нових, прогресивних методів та засобів визначення місць пошкоджень в сучасних умовах має значний економічний ефект, обумовлений запобіганням переходу нестійких пошкоджень у стійкі, зменшенням часу перерв електропостачання, зменшенням об'єму ремонтних робіт, зниженням транспортних витрат тощо.

2. Аналізуючи схему нормального режиму мережі 150 кВ ПАТ «Кіровоградобленерго» можна констатувати, що є ряд підстанцій де встановлення фіксаторів короткого замикання просто необхідно. А струм спрацювання пристроїв ФКЗ, що розробляються, повинен бути  $I_{\min} \geq 1,5 \text{ кА}$ .

3. На основі розрахунку зусиль, тягових характеристик та магнітної системи пристрою, було запропоновано конструкцію ФКЗ, яка відрізняється простотою та надійністю роботи.

4. Експериментальні дослідження роботи ФКЗ підтвердили повну придатність пристрою до експлуатації при мінімальному струмі короткого замикання  $\geq 950$  А.

## Список літератури

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г.М. Шалыт. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
2. Айзенфельд А.И. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями / А.И. Айзенфельд, Г.М. Шалыт. – М.: Энергия, 1977. – 208 с.
3. Плешков П.Г. Фіксатор короткого замикання / П.Г. Плешков, А.Ю. Орлович, А.І. Котиш // Зб. наук. праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. – 1997. – Вип. 1. – С. 42-45.

**Andrij Kotysh, Assos. Prof., PhD tech. sci., Petro Pleshkov, Prof., PhD tech. sci., Anatoliy Orlovich, Prof., PhD tech. sci., Oleksandr Sirikov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**Andrij Nekrasov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kremenchuk M. Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine*

### **Development and experimental research latch short circuit for air electric networks voltage 110 – 150 kV**

The article is dedicated to improving reliability of electric networks with voltage 110-150 kV by application developed special devices latch short circuit.

Based on the analysis circuit normal 150 kV network PAC "Kirovogradoblenergo" found that a number of stations where installation clamps short circuit is necessary. Your best option holder short circuit designs developed his kinematic scheme defined relationships between parts movement mechanism unit and executed his power calculation. The design retainer short circuit, made his calculation of the magnetic system, which allowed to build Weber-voltage and traction device.

Experimental studies and laboratory tests latch short circuit. As a result, defined thresholds triggering device as a function of current and time, built its characteristics. Experiment confirmed the full applicability of the device to work in real conditions.

**power line, short circuit, electrical network, lock, isolation**

Одержано 20.11.15

**УДК 681.5:004:635.64:004**

**М.С. Мірошніченко, доц., канд. техн. наук, В.О.Зубенко, доц., канд. техн. наук, Т.О. Прокопенко, асист.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: Zub\_valya@ukr.net*

## Моделювання нейро-мережевого керування температурно-вологісним режимом у теплиці

На основі нейронних мереж та з використанням експериментальних даних створено модель зміни температурно-вологісного режиму у теплиці в залежності від потужностей обігрівачів ґрунту та повітря, що дозволило забезпечити формування енергоефективних навчальних вибірок в адаптивній системі керування мікрокліматом.

**нейронна мережа, температурно-вологісний режим, теплиця, система керування**

**М.С. Мирошниченко, доц., канд. техн. наук, В.А. Зубенко, доц., канд. техн. наук, Т.А. Прокопенко, асист.**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

### **Моделирование нейро-сетевого управления температурно-влажностным режимом в теплице**

На основе нейронных сетей с использованием экспериментальных данных создана модель изменения температурно-влажностного режима в теплице в зависимости от мощности обогревателей почвы и воздуха, что позволило обеспечить формирование энергоэффективных обучающих выборок в адаптивной системе управления микроклиматом.

**нейронная сеть, температурно-влажностный режим, теплица, система управления**

**Постановка проблеми.** Складність керування температурно-вологісним режимом у теплиці пов'язана з наявністю перехресних зв'язків між температурою повітря та ґрунту в приміщенні теплиці і параметрами мікроклімату та наявністю чистого запізнення між змінами цих параметрів. Крім того, має місце інерційність теплиці за метеорологічними параметрами навколишнього середовища, які є основними збудуючими діями. При цьому якість роботи теплиці залежить від підтримки технологічного балансу між заданими та поточними значеннями параметрів її мікроклімату (без перевитрат енергії), а формування мікроклімату в приміщенні теплиць обумовлено тепломасообмінними процесами. Урахування взаємозв'язків між режимами і параметрами, їх узгодження і підтримка необхідного рівня в теплицях є найважливішою умовою отримання високих урожаїв тепличних культур. Вихід режимних параметрів за межі, встановлені агротехнічними вимогами при вирощуванні овочів у закритому ґрунті впливає на врожайність і товарну якість продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Порівняльний аналіз існуючих систем керування мікрокліматом в теплицях показав, що вони не дозволяють швидко та оперативно реагувати на зміни виробничих ситуацій в реальному часі, що знижує їх ефективність і веде до нераціональних витрат енергоресурсів та зменшенню продуктивності тепличного комбінату [1-4].

На основі проведеного аналізу встановлено необхідність зміни принципу формування керуючих дій, потрібних для керування температурно-вологісним режимом у теплиці, з метою покращення енергоефективності. Оскільки теплиця як об'єкт керування належить до багатовимірних багатозв'язаних об'єктів зі змінними параметрами, які функціонують в умовах дії векторних випадкових корисних сигналів, збудень та завад, характеристики яких наперед невизначені, то найбільш доцільно розробляти системи керування ними на основі поєднання адаптивних методів керування з методами побудови нейронних мереж. Одним з ефективних засобів вимірювання в умовах невизначеності, як доведено у [5], є інтелектуальна система, побудована за допомогою нейронної мережі. Тому поєднання аналітичної системи адаптації з нейронною мережею для автоматизації управління таким складними технологічним об'єктом, як теплиця, є обґрунтованим.

**Постановка завдання.** Завдання досліджень температурно-вологісного режиму в теплиці: провести оцінку значимості впливу вхідних параметрів на вихідні з використанням нейромережевої моделі, застосовуючи дані експериментальних досліджень та змінюючи конфігурацію входів та виходів; перевірити розроблену модель та підтвердити її придатність для подальшого використання у імітаційному моделюванні та при практичній реалізації.

**Виклад основного матеріалу.** Основний контрольований та регульований вплив на температуру ґрунту, температуру внутрішнього повітря в приміщенні теплиці, температуру рослинного покриву та температуру огорожі при вирощуванні овочів здійснює зміна потужності обігрівачів повітря.

Для проведення імітаційного моделювання розробили математичну модель технологічних процесів у теплиці, де на виході були не потужності обігрівачів повітря та ґрунту, а температура повітря біля рослин та вологість повітря у теплиці – з метою отримання реакції об’єкта керування на керуючі впливи. Для цього побудували нейромережеву модель (рис.1), застосовуючі дані експериментальних досліджень та змінюючи конфігурацію входів та виходів.

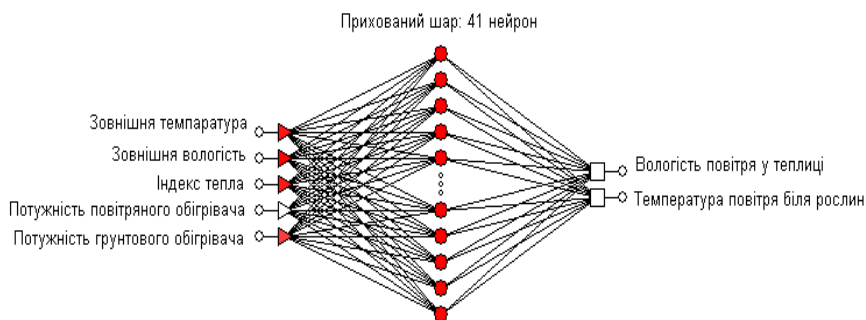


Рисунок 1 – Архітектура нейромережевої моделі температурно-вологісного режиму у теплиці (імітаційне моделювання)

Перевірка на адекватність такої моделі підтвердила її придатність для подальшого використання у імітаційному моделюванні (рис. 2, 3).

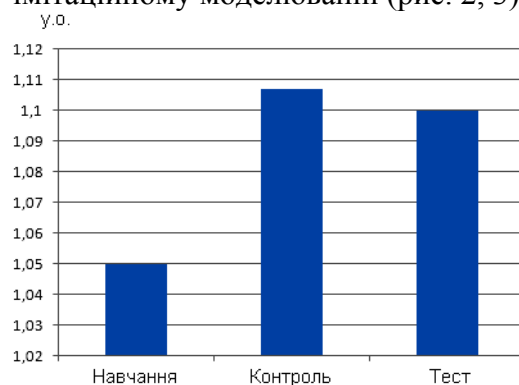
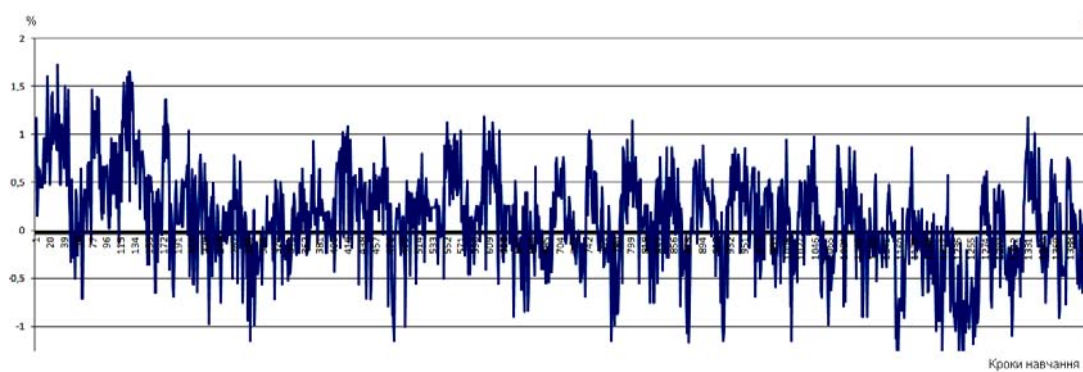
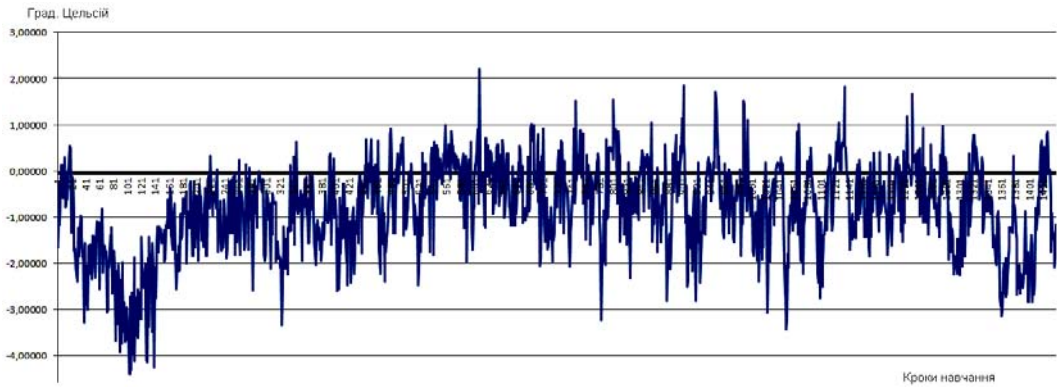


Рисунок 2 – Перевірка на адекватність НМ на основі подання різних типів вибірок (критерій – середньоквадратична похибка)



а)



б)

а – вологість повітря у приміщенні теплиці, б – температура повітря біля рослини

Рисунок 3 – Значення середньоквадратичних похибок обох виходів НМ моделі температурно-вологісним режимом у теплиці

У пакеті прикладного математичного програмного забезпечення “MatLAB Simulink”, який містить блок неймережевого моделювання, здійснили імітаційні дослідження функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці (рис. 4, 5).

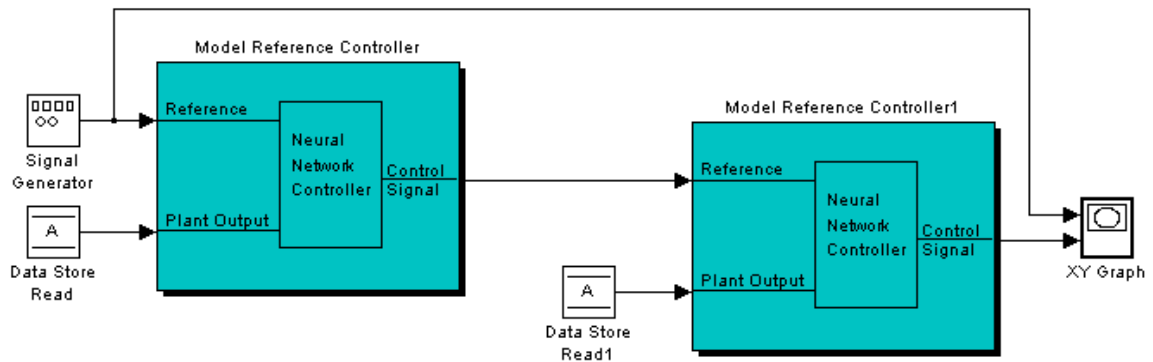
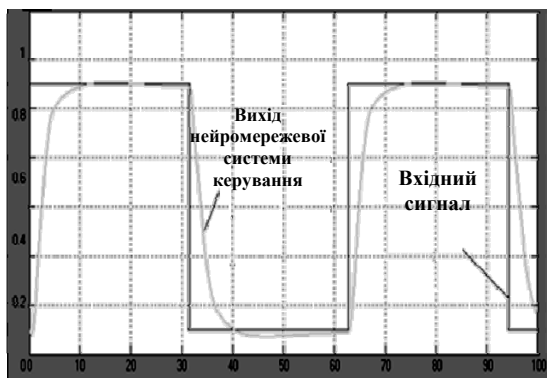
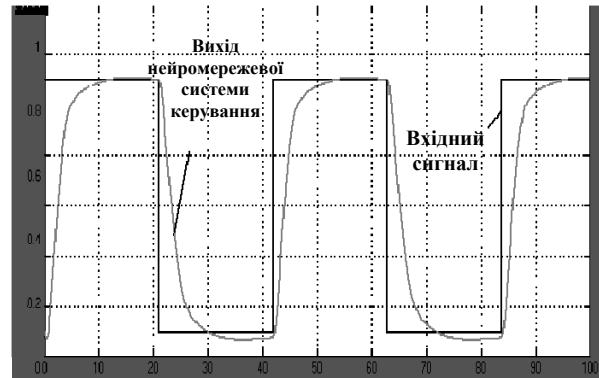


Рисунок 4 – Імітаційна модель функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці (середовище “MatLABSimulink”)



а)



б)

а – обігрівач повітря, б – обігрівач ґрунту

Рисунок 5 – Результати імітаційного моделювання функціонування інтелектуальної неймережевої системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці за каналами керування

Перевірка на адекватність такої моделі підтвердила її придатність для подальшого використання у імітаційному моделюванні.

За результатами імітаційного моделювання функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці встановлено, що її якісні характеристики наступні (стосовно обох керуючих виходів): перерегулювання: за верхнім фронтом – 0 %, за нижнім фронтом – 2,5 – 3,75%; максимальне динамічне відхилення: за верхнім фронтом – 0, за нижнім фронтом – 0,02 – 0,03; кількість напівколивань: за верхнім фронтом – 0, за нижнім фронтом – 1. Такі характеристики системи керування, особливо із врахуванням можливості її “донавчання” у штатному режимі роботи на основі зберігання та опрацювання виробничих ситуацій реального підприємства, задовольняють технологічним вимогам.

**Висновки.** На основі нейронних мереж (тип – радіально-базисна функція) та із використанням експериментальних даних створено модель зміни температурно-вологісного режиму у теплиці; застосування такої НМ дозволило практично забезпечити формування енергоефективних навчальних вибірок.

## Список літератури

1. Рысс А.А. Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте / А.А. Рысс. – М: Россельхозиздат, 1983. – 80с.
2. Рыков А. Системы управления: сравнительный анализ / А. Рыков // Тепличные технологии. – 2005. – №4. – С.16-18.
3. Гарасимчук І.Д. Інформаційно-вимірювальна система контролю параметрів мікроклімату та обліку витрат енергоресурсів / І.Д. Гарасимчук, Ю.І. Панцир //Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. – 2001. – Вип. 9.– С. 451-454.
4. Лисенко В.П. Оптимальне управління: стан та перспективи розвитку в тепличній галузі / В.П. Лисенко, А.О. Дудник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. – 2011. – Вип.166. – С.53-56.
5. Прокопенко Т.О. Комп'ютерно-інтегрована система автоматизації мікроклімату в теплиці з використанням нейромереж / Т.О. Прокопенко, М.С. Мірошніченко, В.О. Зубенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2014. – Вип. 154. – С. 79-82.

**Maria Miroshnichenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Valentina Zubenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Tetyana Prokopenko, assist.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Simulation of neural-network control temperature and humidity conditions in the greenhouse**

The purpose of this article is to study the temperature and humidity in the greenhouse mode: assessment of the importance of the impact of input parameters for the weekend using a neural network model developed model test and confirm its suitability for use in simulation and in the practical implementation.

Based on neural networks (type - radial basis functions) and the experimental data using a model change in temperature and humidity regime in a greenhouse to obtain reaction facility management on control actions. Check the adequacy of this model proved its suitability for use in simulation. The use of this neural network is practically possible to ensure the formation of energy efficiency training samples for later use in adaptive (intelligent) system controls temperature and humidity conditions in the greenhouse.

The results of simulation modeling intellectual functioning control system of temperature and humidity conditions in the greenhouse revealed that its qualitative characteristics of the following (for both control outputs): overshoot: the upper front - 0%, the lower front - 2.5 - 3.75%; the maximum dynamic deflection: the upper front - 0 Bottom front - 0.02 - 0.03; napivkolyvan number: the upper front - 0 Bottom front - one that meets the technical requirements.

**neynonnaya Network, temperature-vlazhnostnyy mode, greenhouses, system management**

Одержано 20.11.15

УДК 658.264:657.6

**А.З. Музичак, канд. техн. наук***Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна,**E-mail:mAndriy@polynet.lviv.ua*

## Методика і практика енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики

Необхідною передумовою впровадження енергоощадних заходів на підприємствах комунальної теплоенергетики, є проведення енергетичного аудиту. У процесі відбору та обґрунтування енергоощадних заходів необхідно враховувати неповноту вхідної інформації. Фактор невизначеності враховано як одну зі складових методології побудови ефективних наближених математичних моделей підвищення енергоефективності систем теплопостачання. Запропонована методика дозволяє актуалізувати теплове навантаження будівель без проведення масштабних енергетичних обстежень. На кожному етапі аналізу та обґрунтування енергоощадних заходів запропоновано використати спеціалізоване програмне забезпечення.

**енергетичний аудит, комунальна теплоенергетика, енергоефективність, фактор невизначеності****А.З. Музычак, канд. техн. наук***Национальный университет «Львовская политехника», г.Львов, Украина*

### **Методика и практика энергетического аудита предприятий коммунальной теплоэнергетики**

Необходимым условием внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятиях коммунальной теплоэнергетики, является проведение энергетического аудита. В процессе отбора и обоснования энергосберегающих мероприятий необходимо учитывать неполноту входящей информации. Фактор неопределенности учтено как одну из составляющих методологии построения эффективных приближенных математических моделей повышения энергоэффективности систем теплоснабжения. Предложенная методика позволяет актуализировать тепловую нагрузку зданий без проведения масштабных энергетических обследований. На каждом этапе анализа и обоснования энергосберегающих мероприятий предложено использовать специализированное программное обеспечение.

**енергетический аудит, коммунальная теплоэнергетика, энергоэффективность, фактор неопределенности**

**Постановка проблеми.** Централізоване теплопостачання досить розвинене в Україні та є важливим для забезпечення теплом мешканців міст. Системами централізованого теплопостачання охоплено близько 60% загальної площі житлового фонду України, а гарячим водопостачанням – понад 40% [1].

Історично склалось так, що після введення в експлуатацію вітчизняні системи теплопостачання не розвивались планомірно, в них часто вносили хаотичні зміни. А внаслідок кризи, що мала місце в економіці України у 90-х роках минулого століття, відбулось значне скорочення обсягів ремонтних робіт. Це призвело до значного фізичного зношення обладнання та суттєво погіршило стан підприємств комунальної теплоенергетики. Наслідком цих негативних явищ є значні перевитрати енергоресурсів та справедливі нарікання мешканців на незадовільну якість та високу вартість послуг.

На цьому тлі значно зріс інтерес до систем індивідуального опалення та, на нашу думку, дещо поспішні тенденції відмови від централізованого теплопостачання [2]. Саме тому модернізація вітчизняних систем централізованого теплопостачання та підвищення їх енергоефективності гостро стоять на порядку денному [3].

Ремонтні та модернізаційні роботи на підприємствах комунальної теплоенергетики України часто обмежується заміною зношеного устаткування на аналогічне з покращеними властивостями. Наприклад поширеним енергоощадним заходом є заміна трубопроводів мережі на попередньо ізольовані такого ж діаметру [4], хоча, можливо на цій ділянці мережі доцільно встановити трубопроводи більшого діаметру чи навпаки – меншого діаметру. Відповідь на це та багато інших питань може дати лише проведення енергетичного аудиту підприємства, у процесі якого після аналізу зібраної інформації можливий виважений відбір пріоритетних енергоощадних заходів з обґрунтуванням кожного з них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Енергетичний аудит – це техніко-економічне обстеження систем генерації, транспортування і споживання енергетичних ресурсів і води з метою виявлення й обґрунтування заходів зменшення споживання енергоресурсів, що дозволять підприємству досягнути реальної і суттєвої економії коштів та зменшення екологічного навантаження на довкілля [5]. Підґрунтям для його проведення є чинна законодавча та нормативна база України.

Загальні методологічні принципи проведення техніко-енергетичного обстеження викладені у ДСТУ [6] та у типовій методиці [7]. Проте обстеження підприємства необхідно проводити комплексно з урахуванням специфіки підприємства та усіх особливостей технологічного процесу й ці специфіки необхідно було б врахувати у відповідних галузевих методиках. Для аналізу одних лише будівель розробляються та впроваджуються окремі методики [8], у той час як енергетичне господарство підприємств комунальної теплоенергетики незмірно складніше, а відповідні методики відсутні.

У літературі та в мережі Інтернет достатньо статей, у яких компанії та фахівці діляться досвідом проведення енергоаудиту систем тепlopостачання. Проте досі розвиток системи енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики в Україні знаходиться на рівні повільного формування і становлення, хоча потреба у такого роду обстеженнях є великою. Зауважимо також, що застосовувати досвід іноземних фахівців для проведення енергетичного аудиту вітчизняних підприємств можна лише з оглядом на особливості історичного розвитку вітчизняних систем тепlopостачання та наявність значних конструктивних відмінностей.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** По суті, енергетичний аудит типово включає сім етапів [7], з яких особливої уваги потребують «етап збирання інформації» та «етап оброблення та аналізу інформації», адже їх практична реалізація, тобто конкретна методологія, визначається специфікою об'єкта, на якому виконується обстеження.

Найважливішою частиною підприємств комунальної теплоенергетики є власне системи централізованого тепlopостачання, які включають такі складові як джерела теплової енергії (котельні, ТЕЦ), теплові мережі (магістральні, квартальні), теплові вводи (елеваторний вузол, тепловий пункт з підмішувальною помпою, індивідуальний тепловий пункт) та абоненти (внутрішньобудинкові мережі, прилади опалення, огорожувальні конструкції тощо). Ефективне функціонування системи забезпечується раціональними гідравлічним та тепловим режимами.

Будь-які конструктивні зміни в одних елементах системи викликають відповідні збурення та зміни в інших елементах системи та потребують подальшого розрахунку й переналагодження режимів системи вцілому. Це не дозволяє розглядати кожен складову зокрема, а вимагає системного підходу та цілісного аналізу.

Зазвичай під час проведення енергетичного аудиту використовують можливості засобів перетворення інформації та наявного спеціалізованого програмного забезпечен-

ня [9]. Проте їх використання в сучасних умовах для аналізу стану теплопостачальних організацій має певні особливості. Це обумовлено зокрема неповнотою вхідної інформації стосовно значення теплового навантаження споживачів, стану внутрішніх теплових мереж, характеристик опалювальних приладів, стану зовнішніх теплових мереж тощо. Така неоднозначність обмежує застосування формалізованих методів оптимізації й підвищує роль фахівців в ухваленні остаточних рішень.

**Постановка завдання.** Показати важливість взаємозв'язку між гідравлічним та тепловим режимами системи централізованого теплопостачання. Розробити методику визначення достовірного значення теплового навантаження абонентів в умовах невизначеності вхідної інформації. Окреслити допоміжну роль спеціалізованого програмного забезпечення на кожному етапі опрацювання вхідної інформації й вибору оптимального гідравлічного режиму мережі та відповідного йому теплового режиму абонентів.

**Виклад основного матеріалу.** У системі централізованого теплопостачання усі її складові поєднані в єдиному неперервному процесі виробництва, транспортування, розподілу та споживання теплової енергії. І хоча, одним із найважливіших етапів покращення роботи системи теплопостачання є розроблення та налагодження гідравлічного режиму, усе починається з визначення теплового навантаження.

Визначення теплового навантаження абонентів є першим кроком цілого ланцюга розрахунків (рис. 1), метою якого є оптимальні гідравлічний та тепловий режими. Далі за значенням теплового навантаження та за температурним графіком джерела визначають необхідний відбір теплоносія з мережі (другий крок). На третьому кроці за сукупними витратами теплоносія вибирають циркуляційну помпу, а вже на основі гідравлічних характеристик цієї помпи та інших елементів системи теплопостачання розраховують відповідний їм гідравлічний режим (четвертий крок). Лише на п'ятому кроці визначають оптимальний гідравлічний режим з умов забезпечення необхідної кількості теплоносія абонентам та мінімуму енерговитрат. Останній є підставою бажаного теплового режиму абонентів (шостий крок).

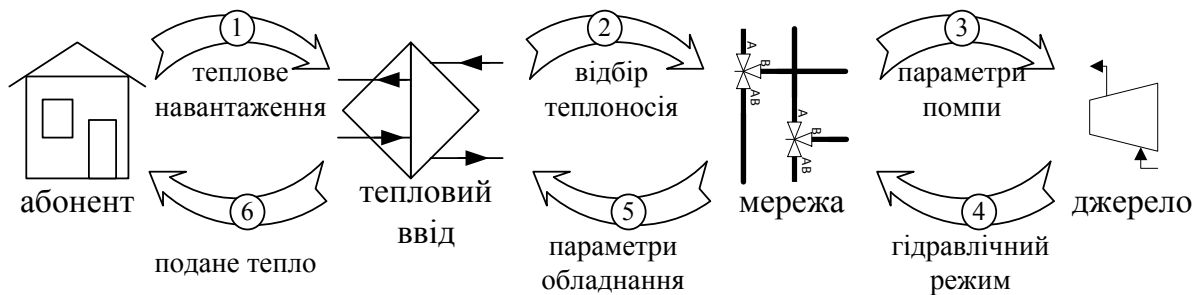


Рисунок 1 – Взаємозв'язок гідравлічного та теплового режимів

Таким чином спостерігається певного роду рекурсивна залежність. Правильне визначення теплового навантаження є передумовою розрахунку оптимального гідравлічного режиму, а раціональний гідравлічний режим є основою якісного забезпечення теплом абонентів та зменшення витрати енергоресурсів підприємством. Нажаль у згаданих нормативних документах [6, 7] це не знайшло належного відображення.

Враховуючи це, підхід до визначення значення теплового навантаження повинен бути виваженим та враховувати не лише вимоги нормативних документів, а й фактичні термічні опори огорожувальних конструкцій, реальні погодні умови, досвід експлуатації тощо.

Теплове навантаження абонентів складається з опалювального навантаження та навантаження гарячого водопостачання, які зазвичай визначають за питомими характе-

ристиками згідно з [10]. Проте цей нормативний документ не враховує деяких важливих моментів, що могли мати місце з моменту спорудження об'єкту. Так досить значна частина населення провела заміну вікон на герметичні й енергоефективні зі склопакетами, скління й утеплення балконів, менш поширене, але також проведене самостійне утеплення частин фасадів тощо. Необхідно також врахувати що на тепловий режим будівлі впливає суттєвий ріст енергооснащення квартир у порівнянні з 80-90 роками.

Наведені зміни теплотехнічних характеристик будівель та складових їх енергобалансу, які обумовлюють зниження потреб у теплоті, не враховані у чинних документах щодо нормування енерговитрат на опалення будівель, зокрема [10], що ускладнює планування діяльності підприємства теплопостачання та оптимізацію режимів вироблення й постачання тепла.

Усі перелічені вище фактори можуть бути враховані згідно з чинним державним нормативним документом ДБН В.2.6-31:2006 [11], вимоги якого є обов'язковими для юридичних і фізичних осіб незалежно від форм власності та відомчої належності. Ці норми встановлюють, зокрема, порядок розрахунку витрат теплової енергії на опалення будинку впродовж опалювального періоду року і його положення мають використовуватися під час проведення енергетичного обстеження будівель та споруд

Однак проведення енергетичного аудиту усього житлового фонду є достатньо громіздким завданням і потребує суттєвих витрат часу й коштів. Разом з тим, актуальні значення теплового навантаження є потрібними для планування діяльності підприємства уже зараз. Така ситуація породжує неоднозначність вхідної інформації: актуальне значення теплового навантаження абонентів невідоме, а визначене за [10] не відповідає дійсності й значення відхилень теж наперед невідоме.

Об'єктивне існування зони невизначеності оптимальних рішень має принципове значення, вносячи додаткові вимоги до організації і методів вирішення проектно-планових задач. Воно, зокрема, обумовлює об'єктивну обмеженість формалізованих методів оптимізації, відводячи їм важливу, але не визначальну роль підготовки можливих варіантів, на підставі яких остаточні рішення ухвалюються фахівцями. Тим самим визначена обов'язкова активна роль фахівця у формуванні варіантів і в ухваленні остаточних рішень.

Властивості вхідної інформації належать до числа визначальних умов постановки оптимізаційних задач, ними значною мірою визначаються метод розв'язування задачі та інтерпретація отриманих результатів. Зазвичай фактор невизначеності враховується шляхом побудови стохастичної моделі, однак для розглядуваних складних об'єктів моделювання та за відсутності апріорних даних про закони розподілу такий підхід малоефективний.

Тому необхідне врахування фактору невизначеності як однієї із складових методології побудови ефективних наближених математичних моделей. Важливу роль у таких випадках відіграють принципи аналогії, однотипності, які можуть бути використані для установок, що знаходяться в подібних умовах, а саме: побудовані за однотипними проектами, мають близькі терміни експлуатації, забезпечуються теплоносієм з однаковими характеристиками тощо.

Для актуалізації теплового навантаження абонентів пропонується така методика:

- провести класифікацію наявного житлового фонду;
- відібрати з кожної групи будівель одну (чи дві) для виконання детального енергоаудиту та визначення їх теплового навантаження;

- порівняти отримані значення теплового навантаження будівель розраховані за питомою опалювальною характеристикою та методом теплового балансу, визначити нове значення питомої опалювальної характеристики;
- поширити отримані результати на решту будівель абонентів.

Для відбору типових житлових будівель міста необхідно виконати аналіз усіх будівель, що приєднані до системи централізованого тепlopостачання. Класифікацію можна вести за такими факторами як: поверховість, кількість під'їздів, матеріал огорожувальних конструкцій, геометрія будівель тощо. Одночасно класифікацію доцільно вести не більше ніж за двома-трьома критеріями. У табл. 1 наведено приклад класифікації будівельного фонду, що включає 469 будинків, за їх поверховістю (від 10 до одноповерхових) і кількістю під'їздів (від 1 до 6). У результаті одержано 36 типів.

Таблиця 1 – Класифікація будівельного фонду

Кількість під'їздів	Поверховість будівель									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	12	9	5	6				11	1
2	14	12	13	14	50				45	
3	12	6	7	11	76				15	
4	5	18	1	3	24				6	
5	4	1	4	1	34				6	
6	2	4	2		14				1	

Подальший аналіз груп споруд показує, що суттєву частку у споживанні теплової енергії займає лише 16 груп споруд (табл. 2).

Таблиця 2 – Впорядкування груп будинків за їх опалюваною площею

№ групи*	Кількість	Опалювана площа		№ групи*	Кількість	Опалювана площа	
		м <sup>2</sup>	%			м <sup>2</sup>	%
5.3	76	191728	18,9	9.5	6	32552	3,2
9.2	45	156831	15,4	9.1	11	27598	2,7
5.5	34	127647	12,6	4.3	11	20913	2,1
5.2	50	81756	8,0	4.2	14	20615	2,0
5.4	24	76676	7,5	2.4	18	13194	1,3
9.3	15	75190	7,4	3.2	13	10486	1,0
5.6	14	44153	4,3	4.4	3	9839	1,0
9.4	6	38421	3,8	3.5	4	9010	0,9

\* № групи – це поєднання кількості поверхів та кількості під'їздів

Вибрані групи будівель складають 73% усіх будівель, але охоплюють понад 92% опалюваної площі, приєднаної до системи централізованого тепlopостачання.

На наступному етапі необхідно вибрати один-два будинки з кожної вибраної групи та провести їх енергетичне обстеження, що включає розроблення їх теплового балансу на основі фактичних характеристик огорожувальних конструкцій та усереднених показників енергооснащення житла.

Для розроблення теплового балансу будівлі бажано залучати програмне забезпечення [12]. У Львівській політехніці для цього розроблена програма «Енергоефективна будівля», що входить в склад спеціалізованого пакету [9]. Ця програма дозволяє визначити, виходячи з теплового балансу будівлі, теплове навантаження за наявних характеристик огорожувальних конструкцій, потребу тепла на опалення протягом опалюваного сезону з врахуванням теплонадходжень у приміщення (побутових,

радіаційних, від людей), вести аналіз складових витрат тепла, обґрунтовувати енергоощадні заходи тощо.

Попередньо за методом теплового балансу було розраховано теплові навантаження будівель без врахування змін у фасадах проведених жителями. Аналіз даних показав, що для 60% будівель різниця між значеннями максимального теплового навантаження розрахованого за [10] та за методом теплового балансу не перевищує 5-6%. Приблизно для 30% абонентів різниця складає 11-12%. Однак різниці є як додатні, так і від'ємні. А в цілому для відібраної групи будинків відмінність складає лише 2,89%.

Далі було визначено зміну теплового навантаження будівель з врахуванням наявних змін у фасадах будівель. Результати показали, що зменшення теплового навантаження будівель в окремих випадках сягає 25%. У середньому теплове навантаження зменшилось на 15%.

Далі за розрахованими значеннями теплового навантаження для кожної з обраних будівель необхідно визначити нове значення питомої опалювальної характеристики. В подальшому саме ці значення необхідно використовувати в розрахунках, замість наведених в КТМ 204 [10].

Отримані значення питомих опалювальних характеристик вводимо у програму «Теплове навантаження», яка є ще однією складовою спеціалізованого пакету [9]. Результатом розрахунку є актуальне теплове навантаження будівлі в цілому, а також розподіл теплового навантаження будівлі між окремими тепловими вводами, якщо їх кілька. Ці дані необхідні для аналізу гідравлічних режимів. Окрім розрахунку теплового навантаження будівель у програмі «Теплове навантаження» закладена можливість аналізу режимів джерел теплової енергії, зокрема споживання палива в залежності від температури довкілля.

Отримані значення теплового навантаження є вхідними даними ще однієї програми зі складу спеціалізованого пакету – «Гідравлічні режими» [9]. З допомогою цієї програми можна проаналізувати наявний гідравлічний режим та визначити параметри ввідного обладнання для забезпечення оптимального гідравлічного режиму.

Схему взаємодії прикладних програм спеціалізованого пакету можна зобразити графічно (рис. 2).

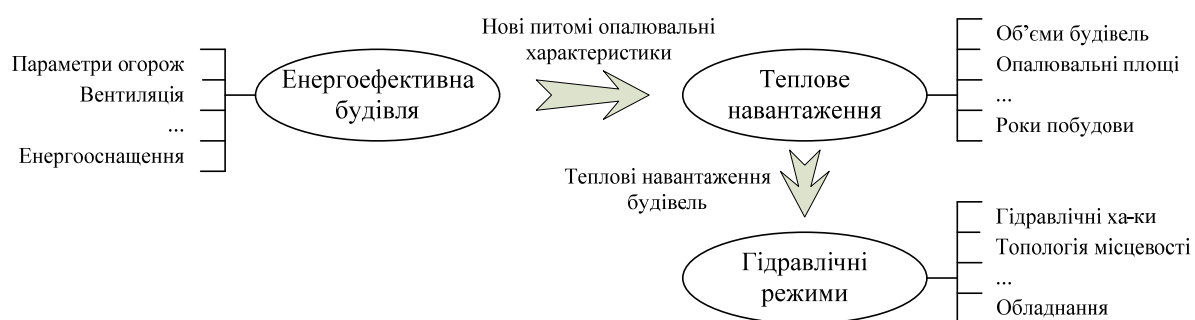


Рисунок 2 – Взаємодія окремих програм спеціалізованого пакету

Зауважимо, що частка невизначеності теплового навантаження, зберігається й після застосування запропонованої методики. Це породжує в задачі вибору оптимального гідравлічного режиму зону недостатньої визначеності. В цю зону входять вирішення, оптимальні за тих або інших можливих поєднань вхідної інформації, а також деякі рішення мало відмінні від оптимальних, але такі, що легко пристосо-

вуються до більшості розглянутих умов. Тому остаточне рішення щодо вибору оптимального гідравлічного режиму приймає фахівець.

Наступним етапом аналізу має бути аналіз теплового режиму мережі й абонентів та визначення тепловтрат у системі тепlopостачання. Саме цей розрахунок необхідний, щоб розробити тепловий баланс теплокомунального підприємства. Такий аналіз також потребує спеціалізованого програмного забезпечення, а вхідними даними для нього будуть результати розрахунку програми «Гідравлічні режими».

**Висновки.** Показано причину виникнення фактору невизначеності теплового навантаження будівель абонентів та його вплив на проведення енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики.

Фактор невизначеності теплового навантаження враховано як одну зі складових методології побудови наближеної математичної моделі.

Запропонована методика дозволяє актуалізувати теплове навантаження будівель, приєднаних до системи централізованого тепlopостачання без проведення масштабних енергетичних обстежень будівель та значних затрат часу і коштів.

Подальшим розвитком методології енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики є розроблення програми аналізу теплових режимів та побудови теплового балансу.

## Список літератури

1. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні. Аналітична доповідь. / Заг. ред. А.І. Шевцова – Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. – 66 с.
2. Козоріз І. Усім автономні котли! // Експрес. – 2011. – №56(5751). – С.10.
3. Малиновський А.А. Децентралізоване тепlopостачання – альтернатива чи хибний шлях / А.А. Малиновський, В.Г. Турковський, А.З. Музичак // Проблеми загальної енергетики. Науковий збірник Інституту загальної енергетики Національної академії наук України. – 2011. – №4(27). – С.53-56.
4. У 2015 році ЛМКП «Львівтеплоенерго» планує замінити 17 кілометрів трубопроводів [Електронний ресурс] // Щоденний Львів. – 28.01.2015 – Режим доступу до ресурсу: <http://dailylviv.com/news/sytuatsiyi-i-pryhody/u-2015-rotsi-lvivteploenerho-planuie-zaminyty-17-kilometriv-truboprovodiv-15396>. – Назва з екрану.
5. Джедула В.В. Енергетичний аудит як засіб забезпечення ефективності енергоспоживання промислових підприємств. // Вісник Одеського національного університету імені І.І. Мечникова. – 2013. – Т.18, вип. 3/1 – С.123-125.
6. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. – [Чинний від 01.07.2007]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
7. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» / Затверджено наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів №56 від 20.05.2010.
8. Радомська М.М. Енергетичний аудит як основа підвищення енергоефективності виробничих та житлових об'єктів / Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності – 2013. – №8. – С.172-178.
9. Komputerowe wspomaganie audytingu energetycznego miejskich systemów ciepłowniczych / A. Malinowski [etc] // IX Międzynarodowe seminarium naukowo-techniczne «Energodom 2008», 2008 – P.321-329.
10. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби. КТМ204 України 244-94. – К.: ВІПОЛ, 2001. – 676 с.
11. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – [Чинний від 01.04.2007] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 72 с.
12. Енергоменеджмент та його роль у вирішенні проблем енергозбереження в комунальній теплоенергетиці / А.А. Малиновський [та ін.] // Нова тема. – 2005. – № 3. – С. 11-13.

**Andrii Muzychak, PhD tech. sci.**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

**Methodology and practice of energy audit of municipal heat power companies**

Identify the main stages of the energy audit of municipal heat power companies and develop a method for determining the thermal load of consumers under uncertainty input data.

Features an energy audit of enterprises municipal heat power companies are reviewed. In the process of selection and substantiation of energy-saving measures must take into account the incomplete input information. For updating the heat load proposed to do a classification of all buildings and for typical buildings develop their heat balance. The calculation results are extended to other buildings of the same group. Only actual values of the heat load can analyze and optimize hydraulic and heat modes. At each stage of calculations proposed to use specialized software. In problem of determining the optimum mode is stored zone insufficient certainty so final decision accept expert.

The technique allows optimize the modes of municipal heat power companies without large-scale energy audits and significant expenses of money and time.

**energy audits, municipal heat power company, energy efficiency, uncertainty factor**

Одержано 26.11.15

**УДК 621:311**

**П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.Б. Бондаренко, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, І.В. Савеленко, викл., К.Г. Петрова, канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,*  
*E-mail: kate\_flash@mail.ru*

## Оптимізація процесу використання електричної енергії за результатами енергоаудиту

Оптимізація процесу використання електричної енергії та економія в оплаті активної та реактивних енергій досягнуто за результатами комплексного енергоаудиту. Модернізація систем освітлення дозволило скоротити електроспоживання вдвічі.

**енергоефективність, заощадження, електроенергія, енергоаудит**

**П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.Б. Бондаренко, асп., С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, І.В. Савеленко, препод., Е.Г. Петрова, канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, г.Кіровоград, Україна*

**Оптимизация процесса использования электрической энергии по результатам энергоаудита**

Оптимизация процесса использования электрической энергии и экономия в оплате активной и реактивных энергий достигнуты по результатам комплексного энергоаудита. Модернизация систем освещения позволило сократить электропотребление вдвое.

**энергоэффективность, энергосбережение, электроэнергия, энергоаудит**

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю більшості електроспоживачів є нерівномірний добовий графік електронавантаження (ГЕН) та наявність енергоємного устаткування. Внаслідок стрімкого збільшення ціни на електроенергію (ЕЕ) загострюється проблема економії сплати ЕЕ шляхом переходу на диференційний облік і відповідного регулювання режиму електровикористання. Таким чином, проведення досліджень з підвищення енергоефективності систем електроспоживання є актуальним.

Метою роботи є підвищення енергоефективності використання та розроблення пропозицій з енергоощадження.

Завданням дослідження є комплексні заходи з регулювання режиму та електроощадження в системі електропостачання.

Об'єктом дослідження є процеси споживання енергетичних ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Енергетичний аудит, загальні принципи проведення якого викладені у ДСТУ [1] та у типовій методиці [2], є необхідною передумовою до пошуку резервів заощадження електричної та теплової енергій, виявлення напрямків та заходів з енергоощадження. В той же час, відсутня єдина загальноприйнята методика вибору та ранжування енергоощадних заходів за першочерговістю впровадження та побудови системи управління енергоощадженням.

Слід зазначити, що в роботах [2-4] фрагментарно наведено рекомендації щодо вибору та розроблення переліку енергоощадних заходів, разом з тим невисвітленими залишаються важливі питання методологічного та методичного характеру, пов'язані з вдосконаленням існуючих та розробленням нових організаційно-управлінських рішень та комплексним підходом до вирішення питань управління енерговикористанням на об'єкті енергоаудиту.

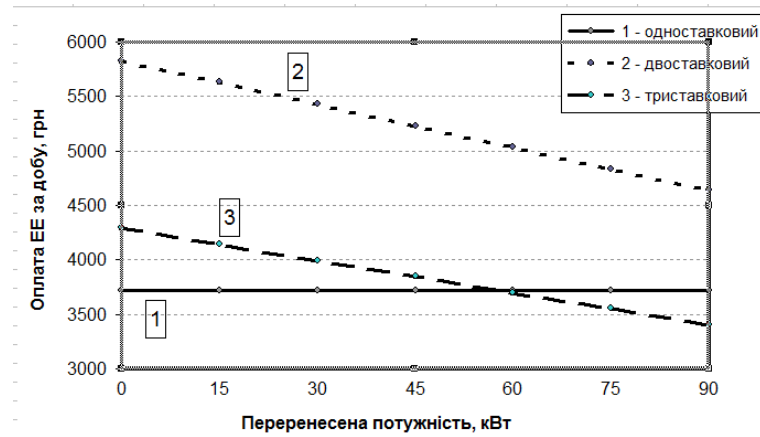
**Постановка завдання.** Аналізування прогресивного досвіду показало, що кожен об'єкт має свою специфіку та вимагає індивідуального підходу, зокрема, – виявлення і впровадження найбільш доцільних з техніко-економічної точки зору заходів з енерго- та ресурсозбереження. З цією метою слід розглянути можливість застосування статистично-математичних методів управління енергоощадженням ВНЗ: розробити новий методичний підхід до визначення головних факторів, що впливають на електроспоживання; систематизувати та візуалізувати перелік напрямків, заходів з енергоощадження та запропонувати механізм визначення черговості впровадження напрямків енергоощадження.

**Викладення основного матеріалу.** За системного підходу до проведення енергетичних досліджень можна виокремити наступні основні етапи: вивчення і аналіз об'єкта, побудова енергобалансу; аналіз ефективності використання енергії; розроблення заходів енергозаощадження (ЕОЗ), економічний аналіз ефективності впровадження ЕОЗ [5].

Для дослідження можливості підвищення енергоефективності обласної лікарні проведено детальний аналіз ГЕН (рис.1а). Встановлено, що пікове навантаження зумовлене наступним: ранішній максимум формується на 25% за рахунок термічного устаткування загальною потужністю понад 100 кВт.

Виявлено, що оптимізація добового ГЕН може проводитися за рахунок перерозподілу термічного навантаження потужністю 90 кВт, яке не задіяне у лікувальному процесі і працює впродовж 5 годин (автоклави, дистильатори, дезінфекційні камери, пральні машини, лабораторні парові бані та ін.), з пікової тарифної зони (рис.1,а) – до нічної (рис.1,б). Обслуговування устаткування, що працюватиме уночі, може здійснюватись медперсоналом, який постійно задіяний до чергування у нічну зміну.





1- сплата за однаставковим тарифом; 2 - за двозонним; 3 - за тризонним тарифом

Рисунок 2 – Вплив регулювання режиму електроспоживання на сплату електроенергії

Натомість, крива 2 сплати за двозонним тарифом, як функція  $O_2=f(\Delta P)$ , лежить суттєво вище за  $O_1$  та  $O_3$  в усьому діапазоні  $\Delta P$ , що виключає заощадження від регулювання.

Реактивна електрична енергія споживається при роботі електродвигунів та трансформаторів на створення електромагнітного поля. В лікувальному закладі 4 % всієї електричної енергії споживається електродвигунами (вентиляційні системи, привод пральних машин, кондиціонери, тощо).

До встановлення лічильника реактивної енергії розрахунок за реактив вівся пропорційно до спожитій активній енергії. Після встановлення лічильника сплата за реактив зменшилась практично у 5 разів.

З добового графіку реактивної енергії (рис. 1а) видно, що протягом 24 годин споживається не менше 12 квар·год, тому доцільно встановити батарею конденсаторів для компенсації постійної складової у 12 квар.

Аналіз отриманих добових графіків (рис. 3) дозволяє зробити наступні висновки:

– споживання активної потужності значно перевищує споживання реактивної, тобто коефіцієнт потужності доволі високий навіть у нічні години ( $\text{tg}\varphi=0,5$ ), це пояснюється переважанням чисто активного нагрівального навантаження над навантаженням з магнітними полями, що споживає реактивну потужність (двигуни, електромагнітні ПРА освітлення);

– враховуючи змінний характер споживання реактивної потужності необхідно використовувати автоматичне регулювання потужності конденсаторної установки.

Оберемо конденсаторну установку типу DUCATI 200-М потужністю 40 квар < 48 квар. Конденсаторна установка має три ступені регулювання: 10, 10 і 20 квар та встановлений автоматичний регулятор, що забезпечує регулювання в функції  $\cos \varphi$ .

Фактичний коефіцієнт потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається формулою:

$$\text{tg}\varphi = \frac{WQ_{\text{сп}}}{WP}, \quad (2)$$

де  $WQ_{\text{сп}}$  – споживання реактивної електроенергії за розрахунковий період, квар·год;

$WP$  – споживання активної електроенергії за той же період, кВт·год.

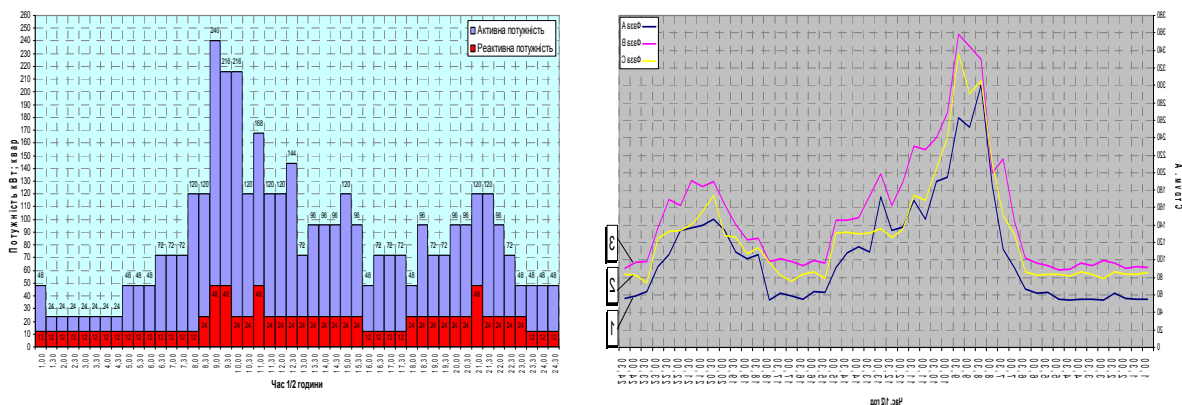
$$\text{Коефіцієнт потужності без компенсації } \text{tg}\varphi = \frac{WQ_{\text{сп}}}{WP} = \frac{14760}{61200} = 0,24.$$

$$\text{Коефіцієнт потужності з компенсацією } \operatorname{tg}\varphi = \frac{WQ_{\text{сп}}}{WP} = \frac{2460}{61200} = 0,04.$$

Оскільки  $\operatorname{tg}\varphi = 0,04 < \operatorname{tg}\varphi = 0,75$ , тому надбавка за недостатнє оснащення мережі підприємства засобами КРП не нараховується.

За вартості установки DUCATI 200-M на 40 квар 637 €, термін окупності конденсаторної установки складає менше 16 місяців.

На сьогоднішній день проблема несиметрії електричних навантажень є досить поширеною, особливо в закладах, де встановлене однофазне обладнання. Паралельно з вимірюванням споживання енергії нами проведено контроль фазних струмів (рис. 3 б).



а б  
Рисунок 3 – 48-схдинковий графік активної та реактивної потужності (а);  
добовий графік зміни струму за фазами (б)

На ввіді 0.4 кВ трансформаторної підстанції в точці обліку, було заміряно струми по кожній з фаз. В години максимуму навантаження ( $t = 9.00$  год) струми дорівнювали:

$$I_A = 263 \text{ A}, I_B = 358 \text{ A}, I_C = 336 \text{ A}.$$

Визначимо додаткові втрати в кабельних лініях за несиметричного навантаження:

$$I_{\text{СЕР}} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} = \frac{263 + 358 + 336}{3} = 319 \text{ A}. \quad (3)$$

Середньоквадратичний коефіцієнт несиметрії  $N_n^2$  складатиме:

$$N_n^2 = \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3 \cdot I_{\text{сер}}^2} = \frac{263^2 + 358^2 + 336^2}{3 \cdot 319^2} = 1,016. \quad (4)$$

Коефіцієнт додаткових втрат електричної енергії від несиметрії:

$$K = N_n^2 \left( 1 + 1,5 \frac{r_0}{r_\phi} \right) - 1,5 \frac{r_0}{r_\phi} = 1,016 \left( 1 + 1,5 \frac{0,0992}{0,0495} \right) - 1,5 \cdot \frac{0,0992}{0,0495} = 1,06, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який показує додаткові втрати від несиметрії, тобто в даному випадку додаткові втрати складають 6 %;

$r_0$  – опір нульового проводу;

$r_\phi$  – опір фази.

Втрати потужності:

$$\Delta P_{\text{КЛ}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{СЕР}}^2 \cdot r_\phi \cdot K \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 2 \cdot 319^2 \cdot 0,0495 \cdot 1,06 \cdot 10^{-3} = 32,1 \text{ кВт}. \quad (6)$$

Додаткові втрати електричної енергії від несиметрії:

$$W_p^{HEC} = W_p^{HEC} \cdot (K - 1) = 32,1 \cdot 2904 \cdot (1,06 - 1) \cdot 10^{-3} = 5,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} . \quad (7)$$

Одним із методів зменшення додаткових втрат електричної енергії від несиметрії навантаження є встановлення фільтросиметруючого пристрою (ФСП). ФСП призначений для підвищення якості електроенергії, забезпечення електромагнітної сумісності силового і електронного устаткування, надійності електроживлення. Встановимо ФСП марки ФСП-АТСТС-400/0,5-УХЛ4 на шинах 0,4 кВ.

Системи освітлення лікарні споживають 35% всієї використаної електроенергії в рік.

Аналіз системи освітлення лікарні показав, що значна кількість освітлювальних приладів є технічно застарілими та неефективними. Впровадження ЕОЗ шляхом заміни встановлених світильників з лампами розжарювання на енергоефективні системи освітлення (світильники з люмінесцентними лампами) дозволить зекономити близько 50% енергії (рис. 4,а).

Експериментальні вимірювання освітленості в приміщеннях, які вирізняються значною висотою стелі, показали, що для економії енергії необхідно розташовувати світильники на тросовому підвісу. При цьому зростає освітленість нормованої поверхні (рис. 4,б) та зменшується кількість світильників. Відповідно до СНіП 23-05-95 [6] світильники, які розміщуються під стелею в приміщеннях лікувальних закладів, повинні бути розташовані на висоті не нижче 1,7...2,2 м від рівня робочої поверхні.

З рисунку 4,б видно, що освітленість швидко зменшується з відстанню  $L$ , тому для забезпечення необхідного освітлення в 300 лк за коефіцієнту запасу  $K_{зАП} = 1,5$  світловий потік світильника:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{зАП} \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,41} = 5433 \text{ лм} , \quad (8)$$

де коефіцієнт  $z$  вводять, щоб в жодній точці отримати освітленість не нижчу за нормовану ( $z = 1,15$  за індивідуального встановлення світильника і  $z = 1,1$  за встановлення групи світильників [7]).

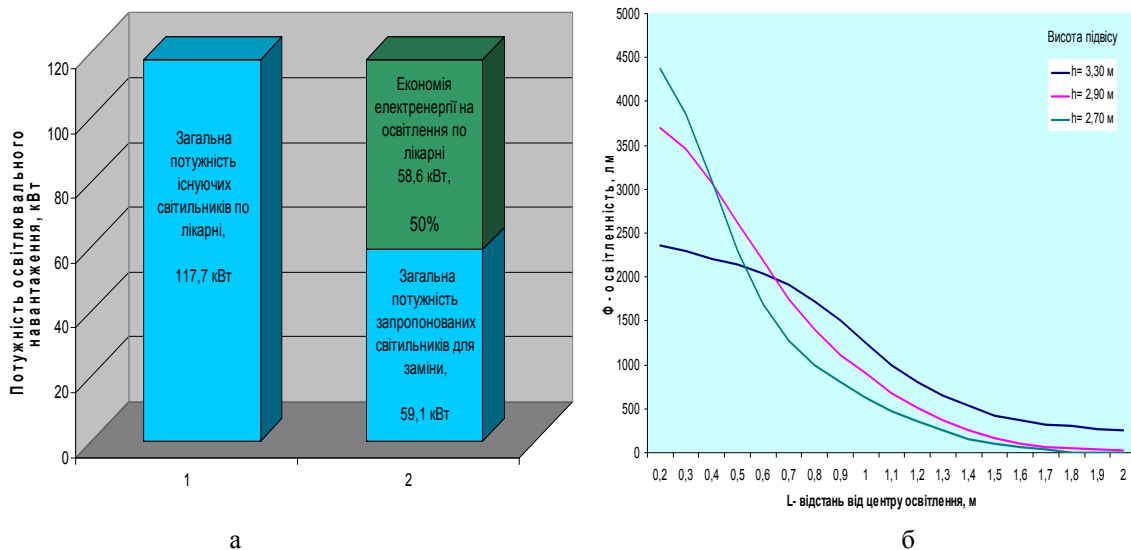


Рисунок 4 – а) – заощадження у випадку заміни освітлювальних установок на ефективні; б) - експериментальна залежність освітленості нормованої поверхні ( $h_{НОРМ} = 0,8$  м) від висоти підвісу ( $h = 3,30; 2,90; 2,70$  м) растрового світильника ( $0,018 \text{ кВт} \times 4$ ), та відстані  $L$ , від центру освітленості за висоти приміщення  $H = 4,3$  м

Визначаємо відхилення фактичної освітленості від нормованої:

$$\Delta E = \frac{\Phi_{CB} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{5300 - 5433}{5433} \cdot 100 = -3\%; \quad (9)$$

де  $\Delta E = -3\%$ , що допустимо (не виходить за межі  $-10...+20\%$  [3]).

Розташування світильників, їх потужність та висота підвісу визначаються індивідуально для кожного приміщення.

Якщо для освітлення використовуються люмінесцентні лампи, то ними споживається реактивна потужність:

$$Q_{POZ} = P_{POZ} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 269,3 \cdot 0,48 = 129,3 \text{ вар}, \quad (10)$$

де  $\operatorname{tg}\varphi$  – відповідає характерному для даних джерел світла коефіцієнту потужності  $\cos\varphi$ , для люмінесцентних ламп  $\cos\varphi=0,9$ , для ламп ДРЛ, які включаються без конденсаторів  $\cos\varphi=0,5$ , для ламп розжарення  $\cos\varphi=1$ .

Результати світлотехнічного розрахунку заносяться до табл. 1.

У такому разі спостерігається суттєве зменшення потужності освітлювальних приладів з 32,2 кВт до 15,4 кВт, тобто – на 48 %.

Замінивши старі системи освітлення на нові енергоефективні (вартість світильника з лампами складає 240 грн, вартість встановлення світильника 60 грн), можна одержати заощадження електроенергії  $\Delta E$ .

Економія сплати електроенергії за рік:  $\Delta K = 415245,6 - 208504,8 = 206740,8$  грн.

Вартість придбання та встановлення  $N$  нових системи освітлення:

$$B = N \cdot \Delta E = 821 \text{ шт} \times (240 + 60) = 246300 \text{ грн.}$$

Таблиця 1 – Корекція висоти підвісу світильника по приміщеннях лікувального корпусу

№ з/п	Розташування однотипних світильників	Реальна заміряна висота підвісу однотипних світильників	Розрахункова висота підвісу $h_C = 0,2 \cdot (H - h_{POB.П})$
1	Поверх №1	0,4	0,7
2	Поверх №2	0,4	0,5
3	Цокольні приміщення	0,4	0,4

Строк окупності становить:  $CO = B/\Delta K = 246300/206740,8 \approx 1,2$  роки.

Розроблене освітлення дозволило скоротити енергоспоживання на освітлення майже удвічі та забезпечити необхідну освітленість, передбачену СНіП та ДБН.

Зважаючи на те, що останнім часом все більше рекламуються світлодіодні джерела світла, нами проведено порівняльний аналіз різних ламп. Для обґрунтування доцільності заміни світильників з люмінесцентними лампами (ЛЛ) світлодіодними було досліджено світлові характеристики зразків світлодіодних ламп (СДЛ).

Вимірювання, проведені для трьох видів СДЛ показали, що:

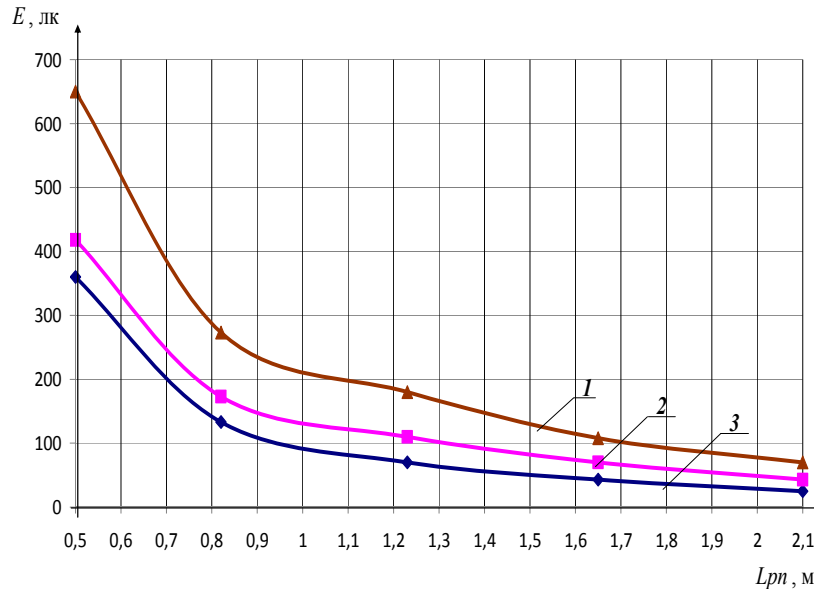
– під час роботи прозорої СДЛ типу РНТ8Т8СНWP20RS з колірною температурою 4750К на робочій поверхні утворюється яскраве смугасте світлове поле з чергуванням жовтих та білих смуг;

– під час роботи світильника з 4-ма світлодіодними стрічками довжиною 1200 мм на робочій поверхні утворюється нерівномірне світлове поле з чергуванням сірих та білих смуг;

– рівномірне світлове поле створює лише матова СДЛ типу РНТВ-10W з колірною температурою 4750 К, але у цьому разі вона має вдвічі менший світловий потік, ніж лампа типу РНТ8Т8СНWP20RS;

– у відбитому розсіяному світлі всіх СДЛ домінує блакитно-салатова складова.

Виміряні за допомогою люксметра типу LX1010BS залежності освітленості  $E$  від відстані  $L_{рп}$  між робочою поверхнею та світильником з ЛЛ потужністю 18 Вт і СДЛ, наведені на рис. 5.



1 – прозора СДЛ (РНТ8Т8СНWP20RS); 2 – матова СДЛ (РНТВ-10W); 3 – ЛЛ (ЛД-20-1)

Рисунок 5 – Залежності освітленості  $E$  від відстані  $L_{рп}$  між робочою поверхнею та світильником

Загальне заощадження у разі заміни світильників з ЛЛ на світлодіодні складається із суми двох чинників: економії електроенергії і експлуатаційних витрат за умови, що їх світлотехнічні параметри однакові. За розрахунками строк окупності при заміні люмінесцентних ламп становить 5,17 років.

Кутові характеристики світлових потоків від ЛЛ та СДЛ схожі за конфігурацією, але сила світлового потоку світлодіодної лампи (130...260 кД) перевищує потік люмінесцентної лампи (80...155 кД) майже вдвічі. Особливістю СДЛ є і те, що її світловий конус є ширшим у порівнянні з ЛЛ. Основним недоліком світлодіодних ламп є наявність у відбитому розсіяному світлі блакитної складової, яка є небезпечною для сітківки ока, особливо молоді до 20 років. Крім того, на сьогодні світлодіодні лампи дорожчі за люмінесцентні.

**Висновки.** 1. Енергетичні дослідження технологічного ресурсу лікарні показали можливість перенесення деяких технологічних операцій (дезінфекція, дистиляція, прання тощо) загальною потужністю 90 кВт до нічної зони. Порівняння сплати за діючими диференційованими тарифами свідчить про неефективність двозонного тарифу та доцільність застосування трizonного, перехід на який дозволить заощадити 8,5 % в сплаті.

2. Після встановлення лічильника реактивної енергії сплата зменшилась практично у 5 разів. З добового графіку реактивної енергії видно, що підвищити енергоефективність режимів реактивної потужності можливо шляхом використання компенсуючих пристроїв з системою автоматичного керування.

3. Наявність однофазних силових навантажень в системі викликає несиметрію фазних струмів та призводить до додаткових втрат в мережах споживачів. Одним із методів зменшення втрат електричної енергії від несиметрії навантаження є встановлення фільтросиметруючого пристрою.

4. Модернізація систем освітлення шляхом оптимізації висоти підвісу над робочою поверхню та впровадження новітніх світлодіодних джерел освітлення дозволило скоротити електроспоживання вдвічі.

## Список літератури

1. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. – [Чинний від 01.07.2007]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
2. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» / Затверджено наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів № 56 від 20.05.2010.
3. Булгакова М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація: навчально-практичний посібник / М. Булгакова, М. Приступа. – Рівне: О. Зень, 2011. – 48 с.
4. Соловей О.І. Енергетичний аудит: навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
5. Плешков П.Г. Енергозощадження в регульованих електроприводах з перетворювачами частоти на IGBT-транзисторах / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, І.О. Переверзєв, В.Б. Бондаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Технічні науки. Вип.101 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2010. – С.88–89.
6. Естественное и искусственное освещение: СНиП 23-05-95 – [Чинний від 1996-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 50 с. – (Строительные нормы и правила).
7. Плешков П.Г. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: навч. посіб. / П.Г. Плешков, Н.Ю. Гарасьова, І.В. Коновалов, В.Ф. Мануйлов. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2008. – 232 с.

**Petr Pleshkov, Prof., PhD tech. sci., Volodimir Bondarenko, post-graduate, Sergiy Serebrennikov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Ivan Savelenko, lecturer, Kateryna Petrova, PhD tech. sci.**

*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Increasing the level of the energy efficiency of the higher education institutions by identifying order of priority of implementation ways of power saving**

Reducing the cost of funds for the purchases of the energy resources by increasing the level of the energy efficiency. The methods of comprehensive complex energy audit and analysis of the synthetic fuel and energy balance are used.

The possibilities of the energy saving are found and their ranking in order of priority of their implementation is conducted.

Taking into account the specificity of the object of the energy audit and the peculiarities of the regimes of the energy usage allowed to improve the model of the energy management system, which is to perform oversight functions concerning compliance of the norms and regimes of the energy usage and allows to systematize the priority tendencies and projects to increase the energy efficiency.

Results of the energy research allowed finding out the reserves of the energy saving and reducing costs on the payment for the energy carriers.

**energy efficiency, energy saving, electricity, energy audit**

Одержано 21.12.15

УДК 621.311.001.57

**П. Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В. П. Солдатенко, викл., М. В. Кубкін, викл.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,  
E-mail: kirovograd41@gmail.com*

## Математична модель гібридної енергосистеми

В статті запропонована математична модель гібридної енергосистеми з відновлюваними джерелами енергії. Отримані рівняння моделі відображають динаміку керування енергосистеми при перерозподілі потоків енергії.

**математична модель, вітроустановка, сонячна установка, електрична енергія, тепла енергія**

**П. Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В. П. Солдатенко, преп., М. В. Кубкін, преп.**

*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кіровоград, Україна*

**Усовершенствованная математическая модель гибридной энергосистемы**

В статье предложена математическая модель гибридной энергосистемы. Полученные уравнения модели отражают динамику управления энергосистемы при перераспределении энергии.

**математическая модель, ветроустановка, солнечная установка, электрическая энергия, тепловая энергия**

**Постановка проблеми.** В даний час для України невідворотно все більше і більше загострюється питання економного використання первинних енергоресурсів та надійності енергопостачання. В контексті неминучого істотного зростання цін на нафту та газ в найближчі роки слід очікувати істотних змін в структурі виробництва та споживання електричної та теплової енергії. Розширення виробництва енергії, очевидно, спостерігатиметься в бік зростання частки ядерної енергетики та широкого використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії. При цьому більш актуальними стають питання рівномірного споживання електроенергії та надійності постачання енергії від різнорідних джерел, особливо для підприємств АПК [1-2]. А відтак виникає потреба математично описати комплексну систему, в якій відбувається постачання від кількох джерел електричної і теплової енергії з їх одночасним акумулюванням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання комплексного використання джерел електричної та теплової енергії іще досліджені недостатньо. Аналіз робіт [1-4] показав, що основна увага приділяється: автономному енергозабезпеченню на основі вітрової сонячної та дизельної (бензинової) установки, окремим проблемам оптимізації роботи систем - процеси заряду-розряду акумуляторів, мінімізація втрат енергії при перехідних процесах, питанням надійності, застосуванню диференційованих тарифів, регулювання електроспоживання. З іншого боку недостатньо приділяється уваги утилізації викидної теплоти привідних двигунів електрогенераторів, режимам акумулювання теплової енергії, тепловим балансам.

**Постановка завдання.** Пропонується розробити математичну модель гібридної системи енергопостачання (ГСЕ), яка забезпечує споживача електричною та тепловою енергією від чотирьох джерел з частковою акумуляцією надлишкової і дешевої енергії.

**Виклад основного матеріалу.** Принципова схема ГСЕ приведена на рис. 1. Надходження основної частки електричної енергії передбачається від традиційної

енергосистеми. Вітрова і сонячна установки ВГ та СУ забезпечують вироблення електричної енергії постійного струму на шини постійного струму ШПС через зарядні пристрої ЗП, заряджання акумуляторної батареї АКБ, та віддачу енергії споживачу через інвертор. Дозаряджання АКБ можливе у нічний час дешевою електроенергією від енергосистеми.

Установка для утилізації відходів сільського господарства (гній, рослинні та тваринні рештки) виробляє біогаз, що накопичується в газгольдері з наступним спалюванням у газопоршневому двигуні ГПД.

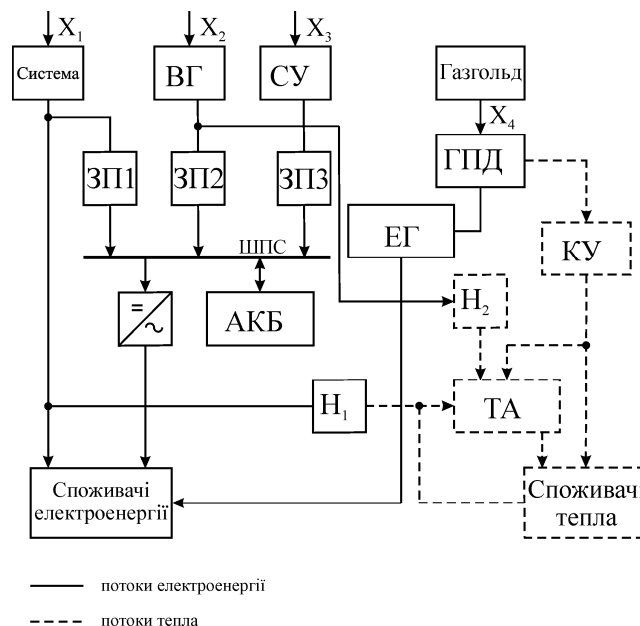


Рисунок 1 - Принципова схема ГСЕ

Використання ГПД виправдовується кращими характеристиками у порівнянні із газотурбінними установками. Двигун приводить в рух електричний генератор ЕГ, що також живить електроспоживачів.

Основне постачання теплової енергії відбувається за рахунок утилізованої з допомогою котла утилізатора КУ теплоти викидних газів та системи охолодження ГПД, а також від енергосистеми при дешевій нічній електроенергії (нагрівач  $H_1$ ), та накопиченої в тепловому акумуляторі ТАМ теплоти. Передбачено також накопичення енергії вітру у вигляді теплоти через нагрівач  $H_2$ .

Структурна схема ГСЕ приведена на рис. 2.

На рис. 2 номерам відповідають 1 - енергосистема, 2 - ВГ, 3 - СУ, 4 - ГПД, 5 - ЕГ, 6 - КУ, 7 - АКБ, 8 - ТАМ, 9 і 10 - електронагрівачі,  $W$  і  $Q$  споживачі електричної та теплової енергії відповідно. Простір вхідних сигналів представляє:  $x_1(t)$  - надходження електроенергії від системи,  $x_2(t)$  - швидкість вітру,  $x_3(t)$  - інтенсивність сонячної радіації,  $x_4(t)$  - подача біогазу,  $W(t)$  - потреба в електричній енергії,  $Q(t)$  - потреба в тепловій енергії,  $\beta_7(t)$  - інтенсивність саморозряду електроакумулятора,  $\beta_8(t)$  - інтенсивність втрат тепла через ізоляцію в тепловому акумуляторі.

Елементом структурної схеми відповідає конструктивний чи експлуатаційний параметр  $p_i$  та передаточна функція  $F_i(p_i)$ , що відображає вхід у вихід. Активністю входу енергоустановок можна керувати за допомогою параметрів  $\alpha_i(t)$  ( $\alpha_i(t) = 1$  - активізувати вхід,  $\alpha_i(t) = 0$  - зробити вхід неактивним). В середині системи потоки енергії між елементами розподіляються пропорційно коефіцієнтам  $0 \leq k_{ij}(t) \leq 1$ .

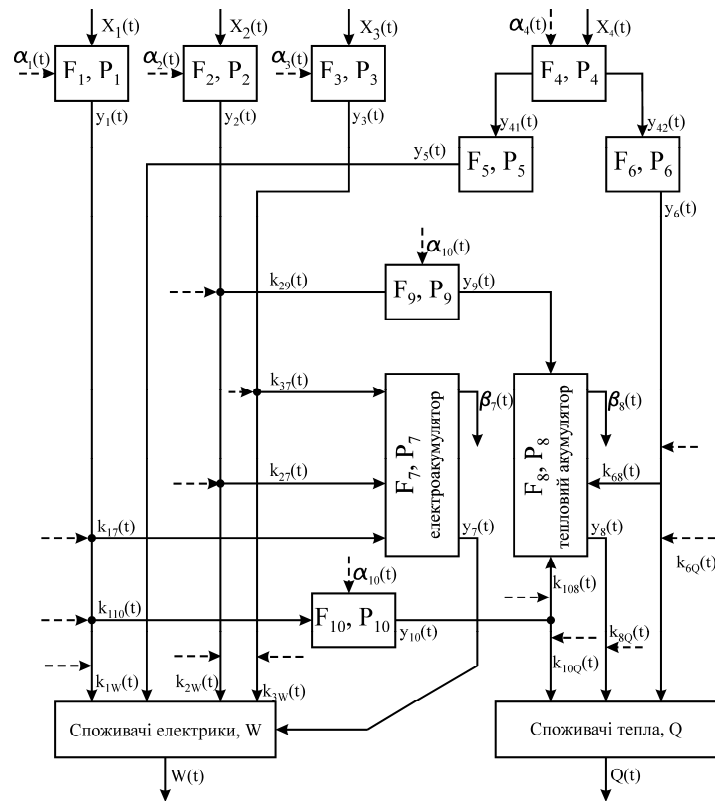


Рисунок 2 - Структурна схема ГСЕ

Визначимо простір вихідних сигналів елементів математичної моделі ГСЕ:

$$y_1(t) = F_1(x_1(t), p_1)\alpha_1(t), \quad (1)$$

$$y_2(t) = F_2(x_2(t), p_2)\alpha_2(t), \quad (2)$$

$$y_3(t) = F_3(x_3(t), p_3)\alpha_3(t), \quad (3)$$

$$y_{41}(t) = F_{41}(x_4(t), p_4)\alpha_4(t), \quad (4)$$

$$y_{42}(t) = F_{42}(x_4(t), p_4)\alpha_4(t), \quad (5)$$

$$y_5(t) = F_5(y_{41}(t), p_5)\alpha_5(t), \quad (6)$$

$$y_6(t) = F_6(y_{42}(t), p_6)\alpha_6(t), \quad (7)$$

$$y_7(t) = F_7((y_1(t)k_{17}(t) + y_2(t)k_{27}(t) + y_3(t)k_{37}(t)), p_7) - \beta_7(t), \quad (8)$$

$$y_8(t) = F_8((y_1(t)k_{17}(t) + y_2(t)k_{27}(t) + y_3(t)k_{37}(t)), p_8) - \beta_8(t), \quad (9)$$

$$y_9(t) = F_9(y_2(t)k_{29}(t), p_9)\alpha_9(t), \quad (10)$$

$$y_{10}(t) = F_{10}(y_1(t)k_{110}(t), p_{10})\alpha_{10}(t). \quad (11)$$

Очевидно, що для коефіцієнтів  $k_{ij}(t)$  справедливо:

$$\begin{aligned} k_{37}(t) + k_{3W}(t) &= k_{68}(t) + k_{6Q}(t) = k_{108}(t) + k_{10Q}(t) = \\ &= k_{17}(t) + k_{110}(t) + k_{1W}(t) = k_{29}(t) + k_{27}(t) + k_{2W}(t) = 1 \end{aligned} \quad (12)$$

Баланс енергії в акумуляторах описується наступними рівняннями:

$$Z_{7\min} \leq Z_{7\min}(t) = Z_{70} + \int_{t_1}^{t_2} (y_1(t)k_{17}(t) + y_2(t)k_{27}(t) + y_3(t)k_{37}(t) - y_7(t) - \beta_7(t))dt \leq Z_{7\max} \quad (13)$$

$$Z_{8\min} \leq Z_{8\min}(t) = Z_{80} + \int_{t_1}^{t_2} (y_9(t) + y_{10}(t)k_{108}(t) + y_6(t)k_{68}(t) - y_8(t) - \beta_8(t))dt \leq Z_{8\max} \quad (14)$$

Надходження електричної та теплової енергії від КЕЕС визначається відповідними рівняннями:

$$F_W(t) = y_1(t)k_{1W}(t) + y_2(t)k_{2W}(t) + y_3(t)k_{3W}(t) + y_7(t), \quad (15)$$

$$F_Q(t) = y_{10}(t)k_{10Q}(t) + y_8(t) + y_6(t)k_{6Q}(t), \quad (16)$$

Функціонування ГСЕ як відкритої системи спрямоване на задоволення потреби навантаження, яке задане функціями  $W(t)$  і  $Q(t)$ . Наявність керуючих впливів та зміна вхідних характеристик обумовлює відхилення функцій  $W(t)$  і  $Q(t)$  від  $F_W(t)$  та  $F_Q(t)$  як у варіанті  $W(t) < F_W(t)$  чи  $F(t) < Q(t)$ , так і у варіанті  $W(t) > F_W(t)$  чи  $Q(t) > F_Q(t)$ . Правомірно вимагати від системи такого результату дії, при якому відхилення виробітку від потреби впродовж інтервалу функціонування  $t_1$ -  $t_2$  було б мінімальним, тобто:

$$\int_{t_1}^{t_2} ((F_W(t) - W(t))^2) = K_W \rightarrow 0, \quad (17)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} ((F_Q(t) - Q(t))^2) = K_Q \rightarrow 0. \quad (18)$$

Доповнюємо систему співвідношень, вводячи вартісні оцінки електричної (теплової) енергії:  $C_{W_i}(t)$  ( $C_{Q_i}(t)$ ) - вартість одиниці ресурсу витраченого на забезпечення роботи  $i$ -того елемента;  $C'_{W_i}(t)$  ( $C'_{Q_i}(t)$ ) - приведена вартість обслуговування  $i$ -того елемента під час його роботи;  $C''_{W_i}(t)$  ( $C''_{Q_i}(t)$ ) - приведена вартість обслуговування  $i$ -того елемента при простой.

Вартісна оцінка електроенергії від ГСЕ при диференційованому обліку:

$$C_{W1}(t) = T_W \cdot \left( \frac{K_{II} + K_{III} + K_H}{\forall t \in T_{II} \quad \forall t \in T_{III} \quad \forall t \in T_H} \right). \quad (19)$$

де  $T_W$  – тариф на електроенергію;

$K_{II}$ ,  $K_{III}$ ,  $K_H$  – тарифні коефіцієнти в піковій, полупіковій та нічній зоні доби.

На забезпечення функціонування вітрової та сонячної установок витрачати первинні енергоресурси не потрібно. Тобто для цих установок рівні нулю  $C_{W2}(t) = C_{W3}(t) = 0$ .

Вартості електроенергії від різних джерел:

$$B_{W1}(t) = \int_{t_1}^{t_2} U_{W1}(t)y_1(t)(1-k_{110}(t))dt, \quad (20)$$

$$B_{W2}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{W2}(t)y_2(t)(1-k_{29}(t)) + U''_{W2}(t)(1-\alpha_2(t)))dt, \quad (21)$$

$$B_{W3}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{W3}(t)y_3(t) + U''_{W3}(t)(1-\alpha_3(t)))dt, \quad (22)$$

$$B_{W4}(t) = \int_{t_1}^{t_2} ((U_{W4}(t) + U'_{W4}(t))\alpha_4(t)x_4(t) + U''_{W4}(t)(1-\alpha_4(t)))dt, \quad (23)$$

$$B_{W7}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{W7}(t)y_7(t) + U''_{W7}(t))dt. \quad (4)$$

Сукупні витрати на забезпечення електроенергією мінімізуються:

$$B_W(t) = \sum B_{Wi}(t) = K_{BW} \rightarrow \min. \quad (25)$$

Вартісна оцінка теплової енергії від ГСЕ при диференційованому обліку:

$$U_{Q1}(t) = K_{W \rightarrow Q} \cdot U_{W1}(t). \quad (26)$$

де  $K_{W \rightarrow Q}$  коефіцієнт перерахунку енергії.

Для вітрової та сонячної установок прийmemo вартості первинного тепла  $U_{Q2}(t) = U_{Q3}(t) = 0$ . А оскільки основною задачею ГПД є виробництво електроенергії, то можна вважати утилізовану теплоту також позбавленою вартості  $U_{Q4}(t) = 0$

Вартості теплової енергії від різних джерел:

$$B_{Q1}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U_{Q1}(t) + U'_{Q1}(t)y_{10}(t) + U''_{Q1}(t)(1-\alpha_{10}(t)))dt, \quad (27)$$

$$B_{Q2}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{Q2}(t)y_9(t)\alpha_9(t) + U''_{Q2}(t)(1-\alpha_9(t)))dt, \quad (28)$$

$$B_{Q6}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{Q6}(t)\alpha_6(t)x_4(t) + U''_{Q6}(t)(1-\alpha_6(t)))dt, \quad (29)$$

$$B_{Q8}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U'_{Q7}(t)y_8(t) + U''_{Q8}(t))dt. \quad (30)$$

Сукупні витрати на забезпечення тепловою енергією також мінімізуються:

$$B_Q(t) = \sum B_{Qi}(t) = K_{BQ} \rightarrow \min \quad (31)$$

**Висновки.** Отже, рівняння (1)-(31) являють собою математичну модель ГСЕ, що відображає динаміку ГСЕ як відкритої системи, керованої за рахунок наявності параметрів керування  $\alpha_i(t)$  та підбору часток перерозподілу енергії  $k_{ij}(t)$ . З точки зору класифікації модель є нелінійною, описаною неперервними та розривними функціями, чотирьохкритеріальною. В якості критеріїв (15, 16, 17, 18) використано визначені для кінцевого проміжку інтеграли, значення яких мінімізується.

Розв'язання задач такого типу у загальному вигляді невідоме, тому отриману модель слід перевести до виду (дискретизація), прийнятної до використання відомих методів, алгоритмів, програм, що є предметом подальших досліджень.

## Список літератури

1. Плешков П.Г. Підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва на основі комплексної електроенергетичної системи / П.Г.Плешков, В.П. Солдатенко // Зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. –2008. – Вип. 12 (26). – С. 373-384
2. Плешков П.Г. Підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва центрального регіону України на основі комплексної електроенергетичної системи / П.Г.Плешков, В.П. Солдатенко // V Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (2–3 квітня 2009 р.). Збірник наук. статей. – Львів: ЛьВЦНТЕІ, 2009. – С. 51-55.
3. Мхітарян Н.М. Деякі аспекти подальшого розвитку об'єктів альтернативної енергетики / Н.М. Мхітарян, С.О. Кудря, А.Р. Щокін // Відновлювана енергетика. – 2007. – №2(9). – С. 6–13.
4. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Х.: ХАИ, 2006. – 643 с.

**Petro Pleshkov, Prof., Ph.D. tech. sci., Valentin Soldatenko, lecturer, Maxim Kubkin, lecturer**  
*Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

### **Mathematical model of hybrid power system**

In the article the mathematical model to develop a hybrid power system, which provides consumers with electric and heat energy from four sources of excess accumulation of partial and cheap energy.

It was proposed block diagram of a hybrid power system in the central part of the grid, renewable battery power or heat. Based on the proposed scheme were drawn up structural equation model mathematical distribution of energy flows, including the cost of energy.

The equations models reflect the dynamics of power management reallocate energy flows through the presence of control parameters  $\alpha_i(t)$  and redistribution of energy recruiting particles  $k_{ij}(t)$ .

**mathematical model wind turbines, solar installation, electricity, thermal energy**

Одержано 29.12.15

УДК 621.311.4.031

**И.О. Синчук, доц., канд. техн. наук, А.Н. Яловая, соискатель***Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина***С.Н. Бойко, канд. техн. наук***Кременчугский национальный университет имени М. Остроградского, г.Кременчуг, Украина, E-mail: bsn1987@i.ua*

## Специфика моделирования возобновляемых источников энергии в среде Homer Energy с целью реализации мероприятий по повышению электро-энергоэффективности железорудных предприятий

Приведена характеристика программных комплексов для моделирования и расчетов электроэнергетических систем на базе возобновляемых источников энергии. Исследовано в программном пакете Homer energy систему электроснабжения участка осветительной сети на базе возобновляемых источников энергии подземной выработки железорудной шахты. Предложено использовать программный пакет Homer energy для исследования электроэнергетических сетей, определения их оптимальных составных элементов и технико-экономической оценки, а также для реализации мероприятий по повышению электроэнергоэффективности отечественных железорудных предприятий.

**возобновляемые источники энергии, Homer energy, электроэнергоэффективность, технико-экономическая оценка, электроэнергетические сети**

**І.О. Синчук, доц., канд. техн. наук, О.М. Ялова, здобувач***Криворізьський національний університет, м. Кривий Ріг, Україна***С.М. Бойко, канд. техн. наук***Кременчуцький національний університет імені М. Остроградського, м. Кременчук, Україна*

### **Специфика моделирования возобновляемых источников энергии в среде Homer energy с целью реализации мероприятий по повышению электроэнергоэффективности железорудных предприятий**

Приведена характеристика програмних комплексів для моделювання і розрахунків електроенергетичних систем на базі поновлюваних джерел енергії. Досліджено в програмному пакеті Homer energy систему електропостачання ділянки освітлювальної мережі на базі поновлюваних джерел енергії для умов підземних виробок залізрудних шахт. Запропоновано використовувати програмний пакет Homer energy для дослідження електроенергетичних мереж, визначення їх оптимальних складових елементів і техніко-економічної оцінки, а також для реалізації заходів щодо підвищення електроенергоєфективності вітчизняних залізрудних підприємств.

**відновлювані джерела енергії, Homer energy, електроенергоєфективність, технико-экономическая оценка, электроэнергетические сети**

**Постановка проблемы.** Отечественная железорудная промышленность потребляет более 20 % электрической энергии (ЭЭ), производимой на Украине, что вызывает к необходимости поиска альтернативных источников ЭЭ. Одними из таковых могут быть автономные миниэлектростанции, использующие энергию ветра, которые могут функционировать как в подземных выработках шахт, та и в условиях окружающего горнорудные предприятия ландшафта (отвалах и т.д.) [1].

Для оценки потенциала использования энергии в производстве, а также определения эффективности мероприятий по энергосбережению необходимы объективные показатели, которые могли бы отразить реальное использование

© И.О. Синчук, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко, 2016

энергоресурсов и давали бы возможность сопоставить результат оценки с максимальными возможностями обеспечения энергосбережения. Установлено, что к основными причинами повышенного уровня расхода энергоресурсов относятся три группы: организационные и эксплуатационные, сырьевые и производительно-технологические. Одним из критериев эффективности энергосбережения, позволяющим оценить его динамику и тенденции, является показатель энергоэкономического уровня производительности. Реализуя в должном объеме мероприятия, имеющие максимальный коэффициент эффективности в пределах выделенных средств, можно добиться максимальной экономии энергоресурсов.

**Постановка задания.** Цель исследования – анализ возможности использования программного обеспечения для реализации мероприятий повышения электроэнергетической эффективности железорудных предприятий.

**Изложение основного материала.** На современном этапе развития энергетики управление энергетическими системами требует качественно новых подходов к решению проблемы оптимизации режимов её работы. В нормальных режимах значения параметров, которые определяют условия надёжности, качества, экономичности и экологии генерации, передачи и потребления электроэнергии близки к граничным. Это обусловлено такими причинами как, концентрация электроэнерго генерирующих мощностей в районах отдаленных от узлов нагрузки, недостаточным развитием электросетей, уменьшение показателей надёжности энергетического оборудования, недостаточными резервами мощностей в энергосистемах, высокий уровень загрязнённости окружающей среды. Поэтому, оптимизация режима, которая направлена только на увеличение экономичности работы энергосистемы, минимизацию суммарного расхода топлива в заданном цикле управления, недостаточная и недопустимая. Необходимо расширить количество критериев и оптимизировать режим не по одному критерию, а по всей совокупности критериев одновременно.

Рациональное и эффективное, с экономической точки зрения, внедрение альтернативных источников энергии, в том числе на предприятиях горнорудной отрасли, нуждается в детальном предварительном анализе, который осуществляется с помощью специализированных программных пакетов (например, Homer Energy, Hybrid2, RETScreen и тому подобное). Программные пакеты, к сожалению, не способны учесть все аспекты, которые могут привести к неэффективной работе рассредоточенных систем энергоснабжения, однако они могут помочь в выполнении огромного объема работы и, в некоторых случаях, вообще способны устранить необходимость проведения детального анализа.

Модели рассредоточенных систем генерации энергии дают возможность пользователю легко просчитать большое количество конфигураций системы и выбрать, руководствуясь собственными потребностями и пожеланиями, наиболее рациональную.

Приведем характеристику программных комплексов, которые целесообразно использовать для моделирования и расчетов систем на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ): Homer Energy, Hybrid2, RETScreen [2].

Программное обеспечение в соответствии с функциональным назначением условно можно разделить на четыре группы, которые коротко проанализируем далее.

Группа 1. Расчетные инструменты Dim (Dimensioning tools). Применяются для вычисления параметров системы на основе исходных данных (тип нагрузки, климатические данные, компоненты системы). С помощью этих программ можно подобрать оптимальное энергетическое оборудование для покрытия потребностей в энергии [2].

Группа 2. Инструменты моделирования Sim (Simulation tools). Используют входные данные для моделирования поведения системы в течение определенного периода времени [3].

Группа 3. Исследовательские инструменты Res (Research tools). Имеют высокую степень гибкости и широкие возможности настройки. Эти программы дополняют моделирование разных систем для исследовательских целей. Эти исследовательские инструменты могут быть написаны на таких языках, как Fortran, C++ или Pascal.

Группа 4. Инструменты проектирования электрических сетей Des (Mini-Grid Design tools). Дают возможность пользователю определить, что является квазиоптимальным решением для электроснабжения некоторого объекта: автономная установка или подключение к централизованной сети. С их помощью можно минимизировать потери мощности в распределительных сетях за счет правильного выбора уровня напряжения и площади перереза кабелей [3].

Таким образом, поскольку группы программ Sim и Dim являются наиболее доступными широкому кругу пользователей без специальных знаний программирования, имеют удобный и легкий в использовании интерфейс и распространяются научно-исследовательскими центрами, то в дальнейшем, будем рассматривать программное обеспечение именно этих групп.

К широко использованным программным продуктам относятся RETScreen из группы Dim, Hybrid2 из группы Sim и программа Homer energy (HOMER) которая относится к группам Sim и Dim.

Программа предоставляет информацию руководителям, необходимую для принятия решений, благодаря выполнению стандартного анализа из пяти этапов: энергоанализа, анализа себестоимости, анализа эмиссии парниковых газов, финансового анализа, анализа рисков, анализа чувствительности системы.

Базовые модули и направления проектов, что охватывает программа, это технологии, которые включены к моделям проектов RETScreen и охватывают традиционные и нетрадиционные источники экологически чистой энергии, а также общепринятые традиционные источники энергии и технологии. Примерами таких проектных моделей могут быть [4]:

- проекты рационального использования энергии, то есть проекты по энергоэффективности (от промышленных предприятий к отдельным зданиям);
- проекты по отоплению и охлаждению (например, с использованием биомассы, тепловых насосов, солнечной энергии для воздушного и водяного отопления);
- проекты по генерации электроэнергии, включительно с возобновляемыми источниками энергии, а именно: солнечной, ветровой, энергии волн, гидро- и геотермальной энергии, а также общепринятыми технологиями, такими как газ и паровые турбины, поршневые двигатели;
- проекты комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерации).

Прорабатывая большие объемы информации о ВИЭ, программа Hybrid2 дает возможность найти оптимальный вариант построения системы электроснабжения с точки зрения технических и экономических аспектов. Главными недостатками Hybrid2 является отсутствие интеграции с базами данных NASA, сложный интерфейс, отсутствие расчетных инструментов Dim и более сложный алгоритм работы (работа с программой нуждается аппаратного обеспечения высокого уровня).

Более детально остановимся на использовании программного комплекса Homer energy, поскольку он является наиболее актуальным на сегодня, для широкого

использования. Этот программный комплекс создан для предоставления помощи в разработке систем рассредоточенной генерации и для облегчения сравнения технологий производства электроэнергии в широком диапазоне использования. В результате исследования была разработана компьютерная оптимизационная модель энергосистемы, которая получила название Homer energy [3].

Homer energy одна из программ, которая выполняет моделирование часовых рядов, чем и отличается от статистических моделей, таких как RETScreen. Из перечня этих моделей Homer energy является наиболее гибкой с точки зрения разнообразия систем, которые она может моделировать.

Homer energy при моделировании сама избирает оптимальную комбинацию необходимого сочетания заданных технологий. Также Homer energy оказывает помощь в понимании и количественной оценке эффекта при переменных исходных данных (Sensitivity analysis), что отсутствует в RETScreen.

Использование Homer energy дает возможность моделировать много разнообразных вариантов структур системы электроснабжения для сравнения, как физических, так и экономических характеристик системы, что помогает при анализе и количественной оценке эффекта при переменных исходных данных (Sensitivity analysis).

Homer energy может моделировать широкий спектр конфигураций систем рассредоточенной генерации, которая включает любую комбинацию из массива фотоэлементов, одной или нескольких ветровых турбин, гидротурбин, дизель-генераторов, аккумуляторных батарей, AC - DC и DC - AC преобразователей, технологических систем, например, систем на основе электролизера и бака для хранения водорода. Энергетическая система может быть подключена к централизованной сети или быть автономной, может покрывать нагрузку постоянного и переменного тока, а также тепловую нагрузку [4].

В Homer energy возможно смоделировать отдельные функционально-структурные схемы таких энергетических систем как:

- электрическая нагрузка переменного тока, которая питается от дизельного генератора;
- электрическая нагрузка постоянного тока, электропитание которой обеспечивается системой с фотоэлементами;
- гибридная гидро-ветро-дизельная система с резервной батареей и выпрямителем;
- ветродизельная система, которая питает электрическую и тепловую нагрузку с двумя генераторами, аккумуляторными батареями, бойлером и сбросной нагрузкой, что позволяет поставлять тепловую энергию путем передачи избыточной мощности ветровой турбины через резистивный нагреватель;
- фотоводородная система, в которой электролизер превращает избыточную мощность фотоэлемента в водород, который хранится в водородном баке и используется в топливных элементах во время недостатка мощности от фотоэлемента;
- системы с ветрогенераторами и использованием аккумуляторных батарей, и водорода для аккумуляции энергии, где водород является топливом для генератора;
- электрическая система, подключенная к системе фотоэлементов;
- энергетическая система, подключенная к когенерационной установке, в которой микротурбина производит электроэнергию и тепло;
- энергетическая система, подключенная к когенерационной установке, в которой топливный элемент обеспечивает систему электроэнергией и теплом.

Homer energy обеспечивает выполнение трех основных задач: моделирование; оптимизация; анализ чувствительности.

В случае реализации задачи моделирования, программой Homer energy моделируется построение заданной системы и осуществляется оценка возможности ее функционирования, что дает возможность проверить ее техническую валидность и стоимость эксплуатации.

При оптимизации осуществляется моделирование большого количества системных конфигураций, построенных для разных вариантов применения элементов, заданных на первом этапе. Во время выполнения этого этапа осуществляется поиск такой конфигурации системы, которая бы по своим технико-экономическим показателям и своему жизненному циклу была наиболее приемлемой.

При осуществлении анализа чувствительности, Homer energy выполняет многократную оптимизацию в диапазоне, заданном при введении начальных данных (ограничений). Такая процедура дает возможность оценить «ценность» переменных на начальном этапе, которые присутствуют на каждом элементе данных. Также анализ чувствительности помогает оценить эффекты постоянства или вариативности переменных, на которые мы не можем влиять, например, скорость ветра, цена на горючее и тому подобное.

В программе есть графическое отражение схемы компонентов, которые будут промоделированы. Это дает возможность быстро получить доступ к техническим и экономическим данным каждого компонента простым нажатием на отдельный элемент на функциональной схеме.

В ряде работ [3-6] рассматривается возможность использования энергий потоков атмосферного воздуха на отвалах карьеров, между отвалами карьеров и в условиях подземных выработок железорудных шахт (ЖРШ).

Анализ условий генерирования и передачи ЭЭ от ВЭУ к электропотребителям ЖРШ должен проводиться с учетом функционирования всего комплекса шахты, кроме того, с учетом детально изучения влияния работы ВЭУ на организацию работы ЖРШ и состояние окружающей среды [6].

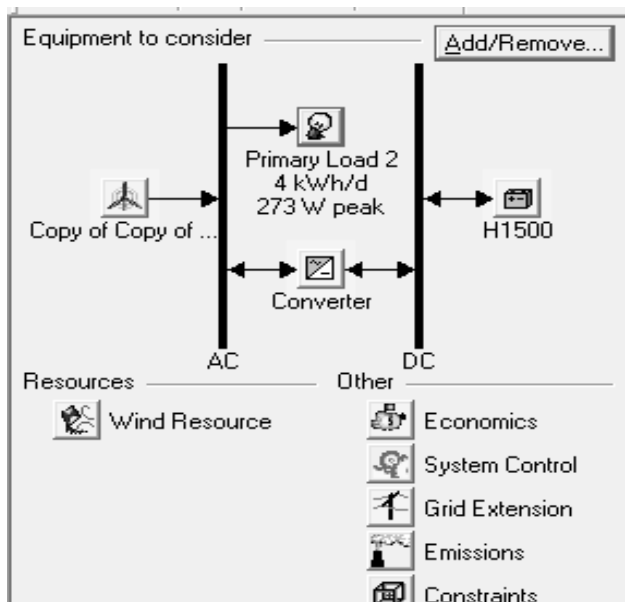


Рисунок 1 – Схема электроснабжения в программе Homer energy

В основу исследований должно быть взято использование современного математического аппарата и вычислительной техники, для анализа процессов и

физически обоснованных явлений, связанных с внедрением ВЭУ, их работой, экономического анализа и целесообразности эксплуатации ВЭУ в условиях ЖРШ [7].

Особенностью работы ВЭУ является то, что она есть нелинейным нестационарным объектом управления и находится под воздействием динамических ветровых нагрузок, энергия которых имеет стохастическую природу [1].

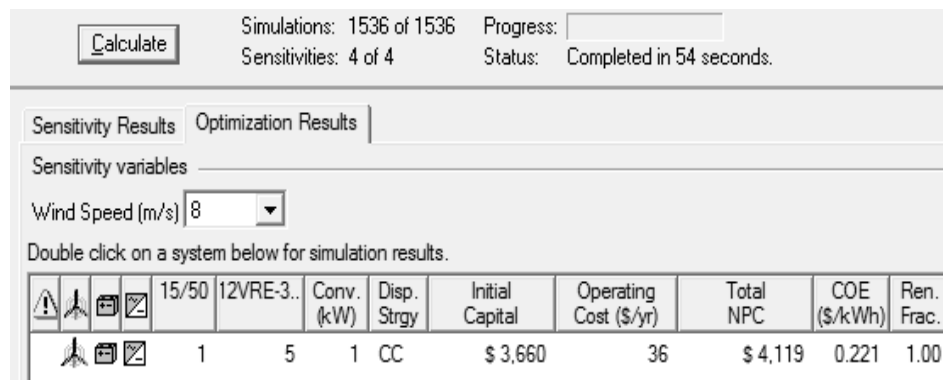


Рисунок 2 – Оптимальное технико-экономическое решение элементной базы автономной энергетической системы в программе Homer energy

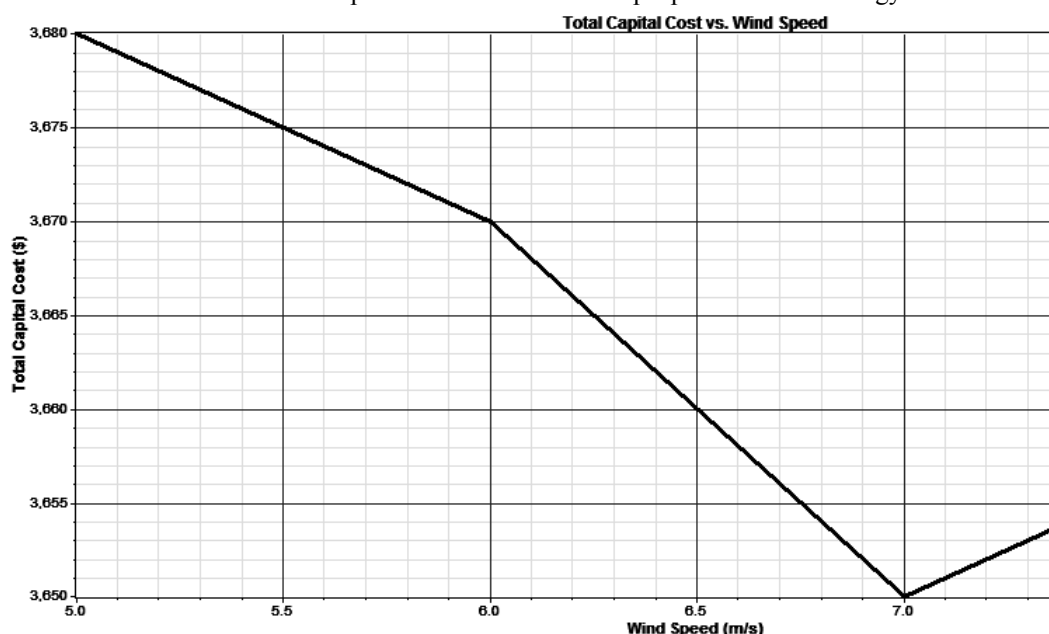


Рисунок 2 – График себестоимости ветроэнергетической системы в программе Homer energy

Принимая во внимание раньше полученные результаты [5] исследований, можно сделать вывод о возможности использования ВЭУ на отвалах карьеров железорудных предприятий для освещения карьера и для передачи остаточной згенерированной мощности в сеть.

В результате исследования аэродинамических характеристик воздушных потоков промышленных предприятий горно-добывающего комплекса (ГДК) был сделан вывод о том, что использования ВЭУ, которые используются как автономно так и в составе системы электроснабжения, является целесообразными и достаточно рентабельными [7].

Таким образом, в среде программы Homer energy было смоделировано ранее предложенную систему автономного электроснабжения на базе ВЭУ (рис. 1-2).

**Выводы.** 1. Принимая во внимание приведенные выше результаты исследований и результаты, полученные ранее [4-6], можно сделать вывод о том, что

использование ВЭУ в условиях отечественных железорудных добывающих комплексов является реальным источником повышения энергоэффективности добываемого железорудного сырья.

2. Для оценки энергетического потенциала возобновляемых источников энергии целесообразно использовать программный пакет Homer energy, позволяющий осуществить исследования электроэнергетических сетей, определения их оптимальных составных элементов и технико-экономической оценки, а также для реализации мероприятий по повышению энергоэффективности железорудных предприятий.

## Список литературы

1. Азарян А.А. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. / А. А. Азарян, Ю. Г. Вілкул та ін. // монографія – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. Сайт DlgSILENT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://support.homerenergy.com>
3. Сайт DMCC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.homerenergy.com/training.html>.
4. Денисюк С. П. Перші кроки до створення дієвих механізмів стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні / С. П. Денисюк, О. Б. Рибіна, В. О. Негодуйко // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. – 2011. – № 30. – С. 5–14.
5. Сінчук О. М. Електромеханічний комплекс вітроенергетичної установки для використання в підземних виробках залізрудних шахт / О.М. Сінчук, С.М. Бойко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/8 (67). – С. 13-21
6. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник // навчальний посібник – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270с.
7. Лежнюк П. Д. Особливості роботи відновлюваних джерел енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, В. В. Кулик // Відновлювана енергетика XXI століття: XII міжнарод. наук.–практ. конф.: матеріали конференції. – 2011. – С. 42–46.

**Igor Sinchuk, Assos. Prof., PhD tech. sci., Olena Yalovaya, applicant**

*Kyryvyi Rih National University, Kyryvyi Rih, Ukraine*

**Sergiy Boyko, PhD tech. sci.**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine*

**The specifics of modeling of renewable energy sources in the environment of Homer energy for the purpose of implementation of measures to improve electrical energy efficiency of iron ore mines**

Description of programmatic complexes is resulted for the design and calculations of the systems on the base of renewable energy sources.

The work has the results. As a result of analysis selected and offered for the researches aims of group of the programs of Sim and Dim, as they are most accessible to the wide circle of users without the special knowledges of programing, have comfortable and interface easy to use and spread by researches focus free of charge. The Homer energy system of energy system power station lighting network is investigational in a programmatic package on the base of renewable energy sources of the underground making of iron-ore mine.

Conclusion. It is offered to use the programmatic package of Homer energy for research of electroenergy networks, determination of their optimum constituents of elements and technically-economic evaluation, and also for realization of measures on the increase electro-energy efficiency of iron-ore enterprises. **alternative energy sources, Homer energy, electro energy efficiency, feasibility assessment, electricity grid**

Одержано 15.12.15

УДК 621-501.72

**О.А.Стенін, проф., д-р техн. наук, О.М.Польшакова, ст. викл.**  
*Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна,  
E-mail: polshakova.o@yandex.ru*

**С.О.Стенін**

*Спеціалізована лабораторія з питань експертизи та досліджень Міністерства доходів і зборів України, м. Київ, Україна*

## Системний принцип побудови автоматизованих навчальних систем

Запропонований системний принцип побудови автоматизованих навчальних систем (АНС), який передбачає реалізацію взаємопов'язаних етапів побудови АНС з єдиних системних позицій за допомогою різних математичних методів

**автоматизована навчальна система, системний принцип**

**А.А.Стенін, проф., д-р техн. наук, О.М.Польшакова, ст. преп.**  
*Національний технічний університет України «КПІ», г. Киев, Украина*

**С.А.Стенін, зам.начальника управління**

*Спеціалізована лабораторія по вопросам експертизи и исследований Министерства доходов и сборов Украины, г. Киев, Украина*

**Системний принцип побудови автоматизованих навчальних систем**

Предложен системный принцип построения автоматизированных обучающих систем (АОС), предполагающий реализацию взаимосвязанных этапов построения АОС с единых системных позиций с помощью различных математических методов

**автоматизированная обучающая система, системный принцип**

**Введение.** В настоящее время совершенствование операторской деятельности приобрело особую остроту в современных системах управления сложными техническими объектами (СТО). От решения этих проблем зависит дальнейшее повышение эффективности как уже эксплуатируемых, так и вновь разрабатываемых производственно-технологических комплексов и различных гибких автоматизированных производств на их основе. Эффективным средством совершенствования профессиональной подготовки операторов являются автоматизированные обучающие системы (АОС)[1,2,7].

В последние годы АОС помимо традиционных областей, таких как авиация, космонавтика, морской флот находят все более широкое применение в промышленности, энергетике и других отраслях народного хозяйства.

Совершенствование операторской деятельности является предметом рассмотрения целого ряда наук и, в частности, теории эргатических систем[3,4,6].

**Постановка задачи.** Человек-оператор принимает, как правило, наиболее сложные и ответственные решения по управлению СТО, причем от правильности его действий, умения своевременно найти и реализовать верное в сложной ситуации решение зависит не только эффективность выполнения задач, возлагаемых на управляемый СТО, но в ряде случаев целостность самого СТО и безопасность людей. Это, в свою очередь, остро ставит проблему совершенствования методических и технических средств при построении АОС.

Следует отметить, что большинство работ в этой области носит узкоспециализированный характер и ориентировано на специалистов определенного научного профиля[2]. Это связано с тем, что разработка прикладных методов и моделей, описывающих различные аспекты операторской деятельности, до последнего времени осуществлялась специалистами различных областей науки и техники. Однако отдельные аспекты операторской деятельности находятся в тесной взаимосвязи друг с другом и должны рассматриваться в рамках единого подхода.

**Решение задачи.** В качестве такого подхода предлагается реализация следующих взаимоувязанных этапов построения АОС с единых системных позиций с помощью различных математических методов.

**На первом этапе** формируются цели (глобальная, локальные) и задачи обучения оператора (операторов) конкретного СТО. Для реализации этого этапа необходимо иметь достаточно подробное описание деятельности оператора(операторов) конкретного СТО, описание функционирования самой СТО в целом и ее отдельных подсистем.

**На втором этапе** из комплекса обучающих задач, охватывающего все сферы деятельности оператора, формулируются текстовые задачи, каждая из которых должна быть функционально полной и законченной. При работе группы операторов для этих задач должна быть составлена структурно-логическая схема взаимодействия операторов. На основе этой схемы проводится оценка деятельности либо каждого из операторов группы при наличии комплексной оценки работы экипажа в целом (разделение оценок), либо экипажа в целом при наличии оценки работы каждого из операторов в автономных режимах (объединение оценок). При необходимости оценки работы операторов в нештатных ситуациях необходимо произвести разделение функций операторов с приоритетом деятельности каждого из них при выходе из той или иной нештатной ситуации.

С формированием тестовых учебных задач тесно связана задача построения и использования полной математической модели функционирования реальной технической системы.

При создании моделей, в АОС важно обеспечить лишь ограниченный изоморфизм модели и объекта в смысле расхождения выделенных выходных переменных в допустимых пределах. Оценка степени сходства подобной модели с оригиналом может быть в соответствии с условием ограниченного изоморфизма произведена с помощью критерия первого рода [5]. Применение данного критерия не налагает ограничений на выбор внутренней структуры модели, а непосредственно влияет на выходные параметры модели, отображаемые на системе отображения информации (СОИ) пультов и обеспечивающие восприятие поведения модели оператором как реального объекта.

Данный критерий может быть представлен в виде:

$$\max|Y - Y_M| \leq \left[ \Delta X_{\text{чел}} \cup \Delta Y_{\text{пр}} \right], \quad (1)$$

где  $\Delta X_{\text{чел}}$  — вектор погрешности, обусловленный физическими возможностями человека по восприятию информации;

$\Delta Y_{\text{пр}}$  — вектор погрешностей приборов, отображающих выходные параметры

Следует подчеркнуть, что синтезируемые модели для обучения должны иметь переменную глубину моделирования и обладать универсальностью.

Под переменной глубиной подразумевается возможность трансформирования модели для отдельных частных режимов работы отдельного объекта.

Под универсальностью модели подразумевается степень ее применимости к анализу класса объектов. Чем шире класс объектов, к анализу которого применима данная модель, тем выше ее универсальность.

**На третьем этапе** производится формирование частных режимов работы одного или нескольких операторов в рамках каждой учебной задачи. Под частным режимом подразумевается совокупность отдельных операций (действий), имеющую определенную функциональную направленность и автономность при выполнении этих действий. В этом случае каждая учебная задача представляется совокупностью режимов, причем некоторые из них могут повторяться в различных учебных задачах. Стыковка режимов производится по входным и выходным переменным СТО.

Такое разбиение предполагает трансформирование полной математической модели на ряд частных моделей, то есть решение задачи декомпозиции и/или упрощения полной математической модели. Это позволяет, с одной стороны, существенно сократить затраты ресурсов ЭВМ на реализацию отдельной учебной задачи, с другой стороны, обеспечивает возможность синтеза эталонных реализаций каждого режима и возможность построения многоуровневых иерархических критериев контроля и оценки действий обучаемых.

**На четвертом этапе** решается задача синтеза эталонных динамических реализаций сформированных выше отдельных режимов обучения. При этом следует учесть то обстоятельство, что оператор должен воспринимать модель по ее проявлениям на средствах отображения информации как реальный объект. Другими словами, интересна только та часть вектора переменных, информация о которой доступна или может быть доступна оператору.

**На пятом этапе** формируется многоуровневая иерархическая система критериев контроля и оценки действий оператора. Этот этап является одним из основополагающих при построении АОС. При этом:

1. Система критериев должна обеспечивать контроль и оценку в реальном масштабе времени процесса обучения не только на заданном наборе учебных задач (верхний уровень), но и позволять оценивать и контролировать входящие в них как частные режимы (средний уровень), так и отдельные переменные этих режимов (нижний уровень).

2. Система критериев должна обеспечивать контроль и оценку в реальном масштабе времени процесса обучения не только на заданном наборе учебных задач (верхний уровень), но и позволять оценивать и контролировать входящие в них как частные режимы (средний уровень), так и отдельные переменные этих режимов (нижний уровень).

3. Система критериев должна обеспечивать объективность контроля и оценки за счет максимальной автоматизации процесса обучения и контроля и, соответственно, снижения субъективной роли инструктора.

4. Система критериев должна обладать гибкостью, то есть иметь возможность варьировать критерии оценки в зависимости от степени подготовленности обучаемого к решению конкретной задачи управления.

5. Система критериев должна, основываясь на количественных оценках, определенным образом отражать качественную сторону процесса обучения.

6. Система критериев должна обеспечивать разделение (объединение) оценок при коллективной деятельности группы операторов.

7. Система критериев должна обеспечивать возможность оценки операторов при работе в нестандартных ситуациях.

Приведенные выше взаимоувязанные элементы поэтапной реализации системного принципа построения АОС представлены на рис. 1.

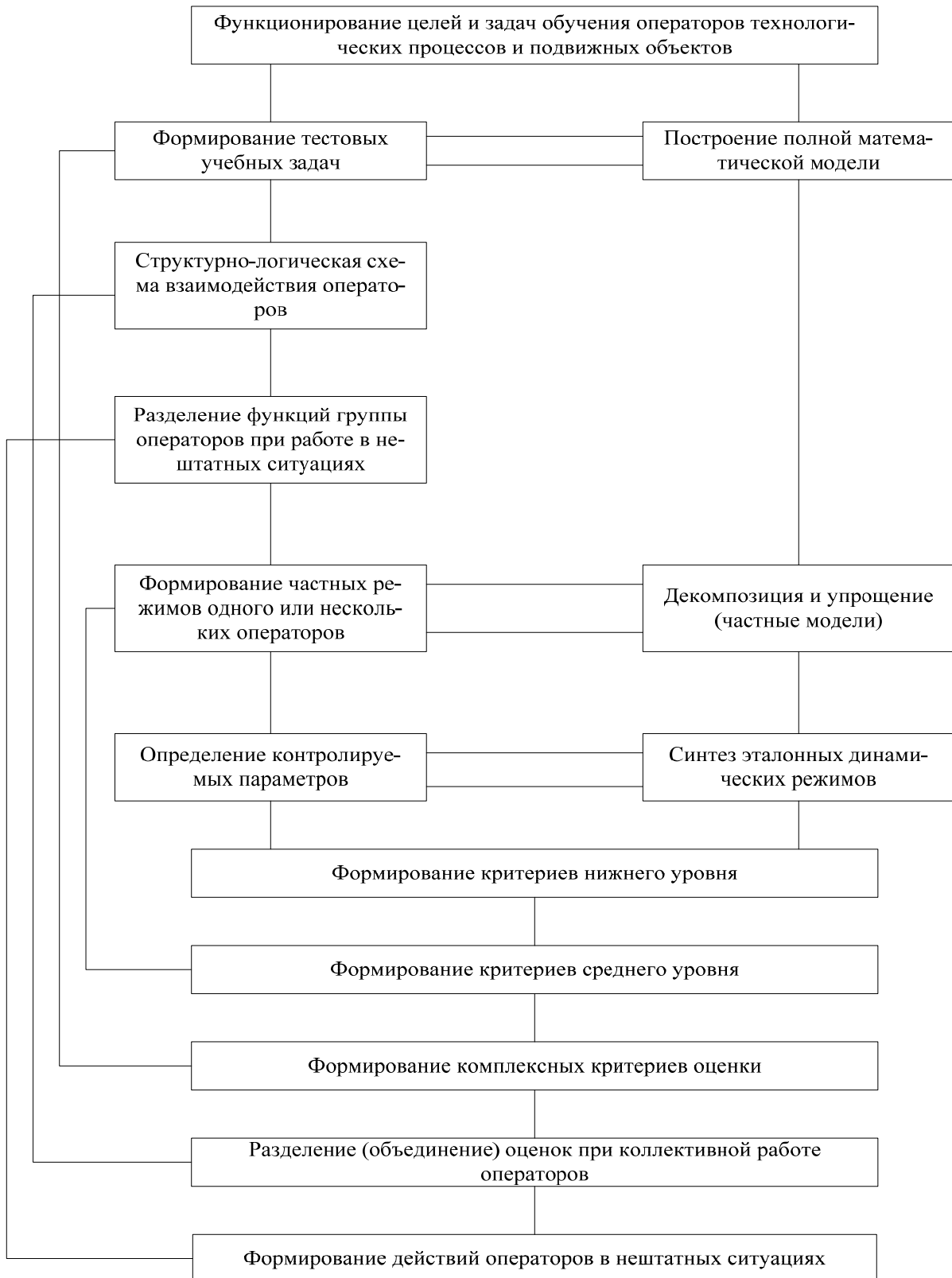


Рисунок 1 – Системный принцип построения автоматизированных обучающих систем

Реализация предложенного системного принципа построения АОС ориентирована на схему "учитель-ученик", приведенную на рис. 2.

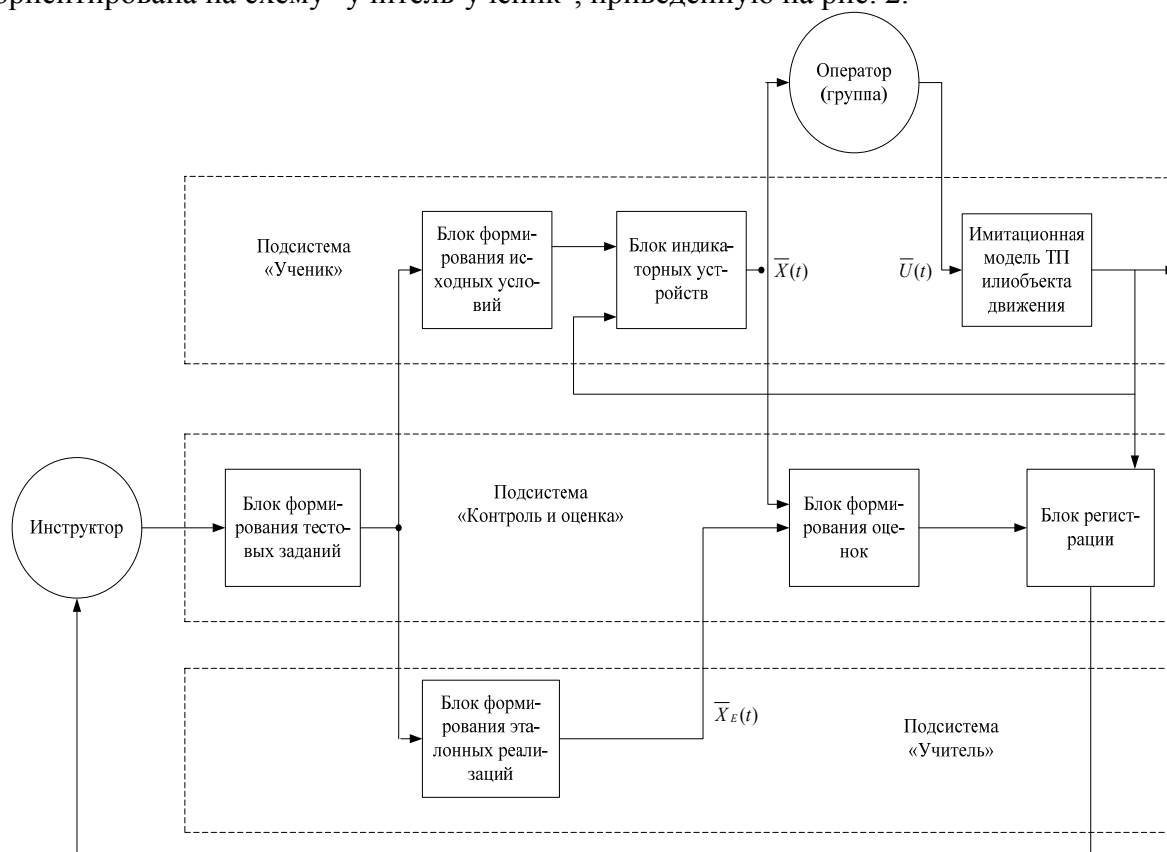


Рисунок 2 – Структурная схема АОС

Главными элементами приведенной схемы являются инструктор, человек-оператор (группа операторов), подсистемы "Ученик", "Контроль и оценка", "Учитель".

В функции инструктора входит выбор тестовой учебной задачи и контроль за общим процессом обучения. При необходимости инструктор может в процессе обучения создать ту или иную нестандартную ситуацию.

Подсистема "Учитель" по выбранной тестовой задаче формирует соответствующие динамические эталонные реализации, на основе которых происходит сравнение с реальной работой оператора (группы операторов) и формируется оценка его (их) деятельности.

Подсистема "Контроль и оценка" содержит:

- "Блок формирования тестовых задач", включающий комплекс обучающих задач, по которому в подсистеме "Учитель" формируются соответствующие динамические эталонные реализации;

- "Блок формирования оценок", реализующий работу многоуровневой иерархической системы критериев оценки;

- "Блок регистрации", обеспечивающий документирование процесса обучения. В случае необходимости он может выступать и в роли подсказчика.

Подсистема "Ученик" содержит:

- "Блок формирования исходных условий", который в соответствии с той или иной учебной задачей устанавливает соответствующие ей исходные значения на средствах отображения информации и в имитационной модели технологического процесса или объекта движения;

– "Блок индикаторных устройств", реализующий формирование исходных значений с предыдущего блока текущих значений изменения состояния объекта, поступающих с блока "Имитационная модель технологического процесса или объекта движения";

– "Блок имитационной модели технологического процесса или объекта движения", реализующий динамику изменения состояния объекта управления при воздействии на него обучаемого оператора (группы операторов).

Построенная таким образом АОС предусматривает автоматическую процедуру контроля и оценки деятельности оператора (группы операторов) с указанными выше ограниченными функциями инструктора.

**Выводы.** Разработанный в данной статье системный принцип построения АОС является эффективным практическим инструментарием построения АОС для широкого класса ЭС, в том числе, с элементами принятия решений.

## Список литературы

1. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов ЛА / под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
2. Стенін О.А., Михальов О.І., Мелкумян К.Ю. Автоматизоване навчання операторів ергатичних систем: Навчальний посібник. - :Київ. ВПК ВПІ видавництво «Політехніка», 2012. – 171с.
3. Технические эргатические системы: Синтез эргаматов. / Под ред. Павлова В.В. – К.: Вища школа, 1977. – 344с.
4. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
5. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности. – М.: Радио и связь, 1990. – 120с.
6. Таран В. А. Эргатические системы управления. – М.: Машиностроение, 1976. – 188с.
7. Чачко А.Г. Тренажеры и учебно-тренировочные центры. – Киев: Знание, 1977. – 39с.

**Alexander Stenin, Prof., DSc., Olga Polshakova, Senior lecturer**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine*

**Sergey Stenin**

*Specialized laboratory expertise and research Ministry of income and taxes of Ukraine, Kiev, Ukraine*

### **System principle of the automated training systems**

An effective means to improve the training of operators are automated training systems (ATS). In recent years, ATS in addition to traditional areas, such as aviation, aerospace, marine fleet are finding increasingly wide application in industry, energy and other sectors of the economy. Improvement of operator performance is the subject of a number of sciences and, in particular, the theory of ergatic systems.

In this article the system principle of construction of ATS is proposed. This principle provides the implementation of interrelated stages of constructing ATS from single system point of view using variety of mathematical methods. It is an effective practical tools for constructing ATS for a wide class of ergatic objects with elements of decision making. In addition, this ATS significantly expands didactic opportunities for training operators of ergatic systems. The teacher (or instructor) in this ATS is an experienced specialist or his reference model.

**automated training system, system principle**

Одержано 28.12.15

УДК 621:311

**В.Ф. Ткаченко, канд. техн. наук**

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

**К.Г. Петрова, канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: Kate\_flash@mail.ru*

## Підвищення рівня ефективності енергоспоживання вищих навчальних закладів за рахунок виявлення почерговості впровадження заходів з енергоощадження

Запропоновано новий методичний підхід до визначення головних факторів, що впливають на електроспоживання; вдосконалено модель системи енергетичного моніторингу, що дозволяє систематизувати та оцінити пріоритетність впровадження напрямів та заходів з енергоощадження, запропоновано механізм визначення почерговості впровадження напрямків енергоощадження.

**енергоефективність, напрямки енергоощадження, пріоритетність впровадження**

**В.Ф. Ткаченко, канд. техн. наук, ст. преп.**

*Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина*

**К.Г. Петрова, канд. техн. наук, преп.**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Повышение уровня эффективности энергопотребления высших учебных заведений за счет определения очередности внедрения мероприятия по энергосбережению**

Предложен новый методический подход к определению главных факторов, влияющих на электропотребления; усовершенствованная модель системы энергетического мониторинга позволяет систематизировать, оценить приоритетность внедрения направлений и мероприятий по энергосбережению, предложен механизм определения очередности внедрения направлений энергосбережения.

**энергоэффективность, направления энергосбережения, приоритетность внедрения**

**Постановка проблеми.** Одним з пріоритетних напрямів енергетичної політики України є інтенсифікація впровадження систем енергоменеджменту, розвиток стратегій заощадження електричної енергії, підвищення рівня енергоефективності та мінімізація витрат на енергоносії.

Основною ж умовою сталого соціально-економічного та матеріально-технічного розвитку вищого навчального закладу (ВНЗ) є обґрунтовані за результатами проведення енергетичних аудитів прогнозування потреби в паливно-енергетичних ресурсах, оптимізація енергетичного балансу та техніко-економічний аналіз доцільності та черговості впровадження енергоощадних заходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Енергетичний аудит, загальні принципи проведення якого викладені у ДСТУ [1] та у типовій методиці [2], є необхідною передумовою до пошуку резервів заощадження електричної та теплової енергій, виявлення напрямків та заходів з енергоощадження. В той же час, відсутня єдина загальноприйнята методика вибору та ранжування енергоощадних заходів (ЕОЗ) за першочерговістю впровадження та побудови системи управління енергоощадженням у ВНЗ.

Слід зазначити, що в роботах [2-4] фрагментарно наведено рекомендації щодо вибору та розроблення переліку ЕОЗ, разом з тим невисвітленими залишаються важливі питання методологічного та методичного характеру, пов'язані з вдосконаленням існуючих та розробленням нових організаційно-управлінських рішень та комплексним підходом до вирішення питань управління енерговикористанням ВНЗ.

**Постановка завдання.** Аналізування прогресивного досвіду показало, що кожен об'єкт має свою специфіку та вимагає індивідуального підходу, зокрема, – виявлення і впровадження найбільш доцільних з техніко-економічної точки зору заходів з енерго- та ресурсозбереження. З цією метою слід розглянути можливість застосування статистично-математичних методів управління енергоощадженням ВНЗ: розробити новий методичний підхід до визначення головних факторів, що впливають на електроспоживання; систематизувати та візуалізувати перелік напрямків, заходів з енергоощадження та запропонувати механізм визначення черговості впровадження напрямків енергоощадження.

**Викладення основного матеріалу.** На регіональному рівні найбільшими бюджетними споживачами теплової та електричної енергії є навчальні заклади, зокрема ВНЗ, де потенціал енергоощадження є одним з найбільших. Так, виходячи з оцінювання потенціалу енергоефективності будівель бюджетного фонду з врахуванням діючих норм до теплової ізоляції у системах опалення навчальних закладів, технічний потенціал енергоощадження становить до 80 % [5].

В цілому впровадження заходів з енергоощадження у бюджетній сфері за техніко-економічними показниками в 4-5 разів доцільніше, ніж вироблення еквівалентної кількості енергії [6].

Результати аналізування стану споживання паливно-енергетичних ресурсів інфраструктурою Міністерства освіти і науки України (МОН), наведені на рис. 1., вказують на актуальність підвищення рівня енергоефективності об'єктів МОН.

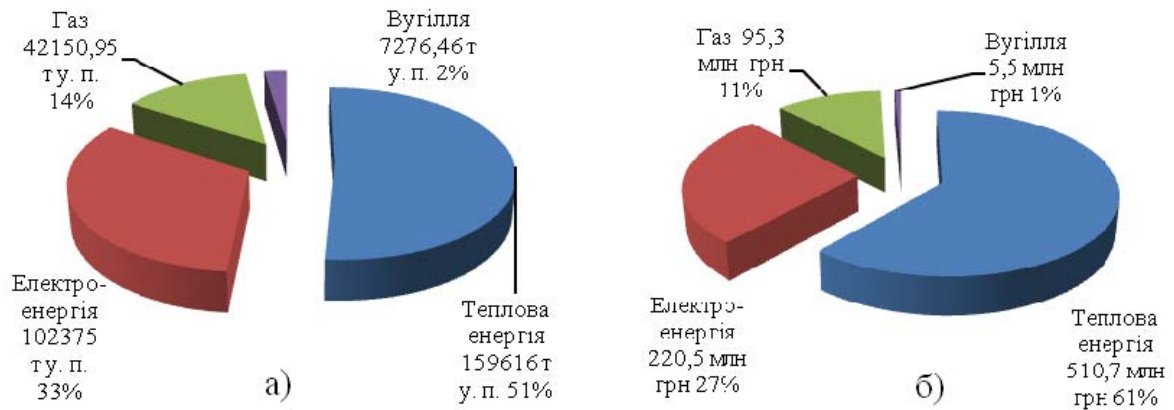


Рисунок 1 – Балансова діаграма розподілу енергоресурсів, спожитих об'єктами МОН (а) та витрата коштів на їх оплату (б) у 2014 році

Складання енергетичного балансу об'єкту електроспоживання є одним з перших кроків до виявлення резервів заощадження енергії, їх дослідження та реалізації. Наприклад, для Черкаського державного технологічного університету (ЧДТУ) електробаланс складено і подано у вигляді табл.1.

З метою максимального впливу на споживачів електричної енергії ВНЗ було розроблено комплекс організаційно-технічних заходів із заощадження електроенергії та подано у вигляді напрямків з енергоощадження.

Таблиця 1 – Електробаланс ЧДТУ

№ з/п	Назва споживачів електричної енергії	%
1	Освітлення	35,2
2	Вентиляція, кондиціонування	9,2
3	Електронагрівальні пристрої	6
4	Насоси	0,8
5	Ліфти	1,1
6	Побутова техніка	6,5
7	Електричні плити	13,6
8	Комп'ютерна техніка	19,7
9	Лабораторні стенди	6,7
10	Інше	1,2
Всього		100

Для кожного з наведених напрямків енергоощадження запропоновано заходи, які відображено на рис. 2 у вигляді схеми Ісікави, що дозволяє максимально систематизувати та візуалізувати їх для покращення сприйняття. Метою реалізації енергоощадних напрямків є максимальне заощадження електроенергії за мінімальних фінансових ресурсів.

Виявлення пріоритетних напрямків, спрямованих на реалізацію резервного потенціалу заощадження електричної енергії у ВНЗ, проведено із застосуванням методу попарних порівнянь (МПП) [7].

Визначення ступеню важливості напрямків заощадження електричної енергії було проведено із залученням до опитування 10 експертів, фахівців з енергетичного аудиту. Експертам було запропоновано оцінити пріоритети впровадження заходів з енергоощадження за 6-ма напрямками: вдосконалення схем електропостачання ( $X_1$ ), якість проведення ремонту електрообладнання ( $X_2$ ), популяризація енергоощадження серед викладачів, технічного персоналу, студентів ( $X_3$ ), енергетичний моніторинг об'єктів енергоспоживання ( $X_4$ ), впровадження нового електрообладнання ( $X_5$ ) та оптимізація режимів використання побутового та навчально-лабораторного електрообладнання ( $X_6$ ).

Визначення ступеню узгодженості думок експертів та попарного порівняння напрямків енергоощадження проводилось із застосуванням статистичної обробки результатів опитування. Так, розраховано коефіцієнт кількості порівнянь  $p=(n \cdot (n-1))/2$ , де  $n$  – кількість напрямків енергоощадження.

Так, експерти попарно оцінювали важливість напрямків, виходячи з умов, що напрямки мають три ступеня вагомості: « > », « < », « = ». Оцінки подані у кількісному виді із розрахунку: знак « > » – 1,5, знак « < » – 0,5, та знак « = » – 1.

Фрагмент таблиці результатів опитування наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Фрагмент результатів розрахунку експертного оцінювання вибору енергозберігаючих напрямків

Порівняльні пари	Найменування порівняльних пар		Експерти					Середня оцінка порівняння пріоритетів	
			1	2	3	...	10	1-ша	2-га
$X_1 - X_2$	Вдосконалення схем електропостачання	Якість проведеного ремонту	0,50	1,00	0,50	...	1,50	1,00	1,00
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$X_5 - X_6$	Впровадження нового обладнання	Оптимізація режимів використання обладнання	1,50	1,50	1,50	...	1,50	1,50	0,50

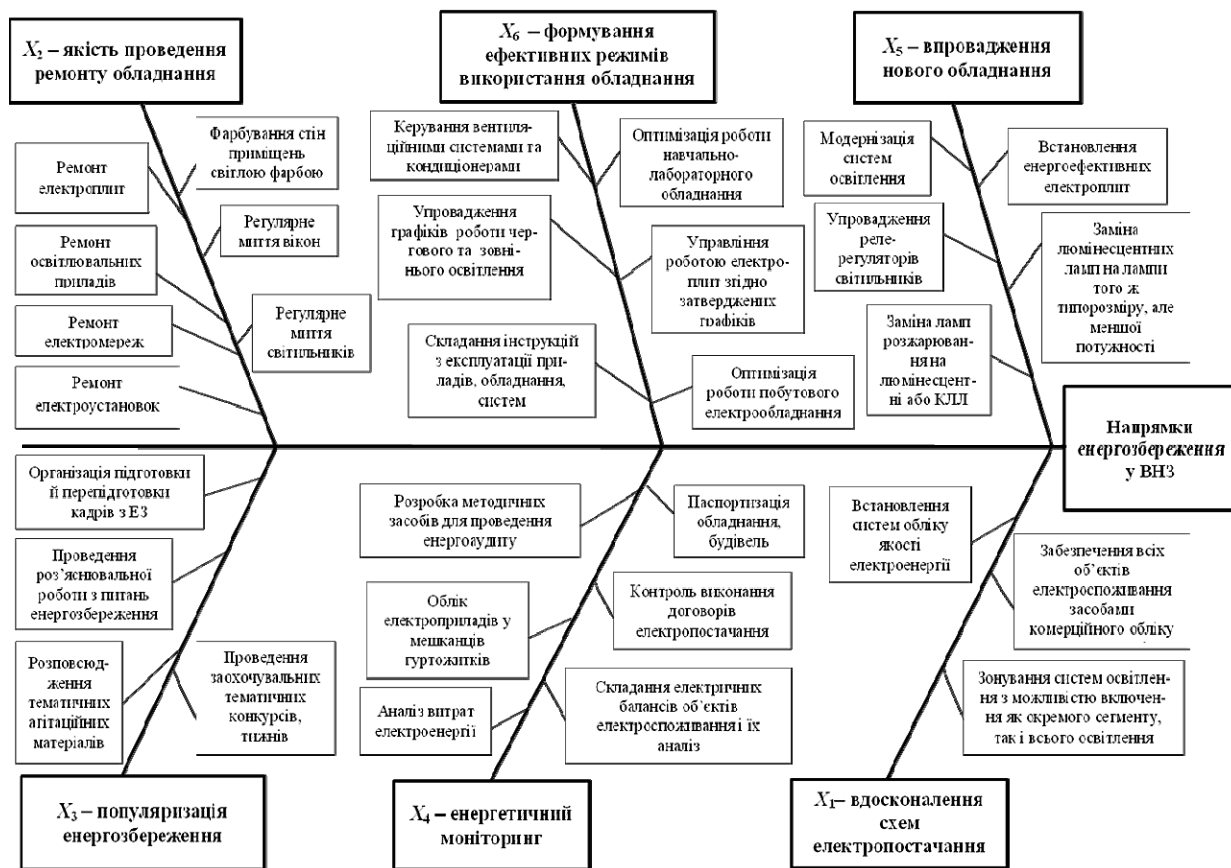


Рисунок 2 – Напрямки та заходи енергоощадження, подані у вигляді схеми Ісікаві

Розраховані перша  $k_1$  та друга  $k_2$  середні оцінки за відповідними формулами:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^m B_i}{m}, \quad k_2 = 2 - k_1, \tag{1}$$

де  $B_i$  – значення ступеня вагомості напрямку, визначене кожним експертом;  $m$  – кількість експертів.

Коефіцієнт пріоритету  $K_{ПР}$  напрямків енергоощадження у ВНЗ знаходимо за формулою:

$$K_{ПР} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} k_i}{n(n-1)}, \tag{2}$$

де  $n$  – кількість порівняльних напрямків енергоощадження.

Вагу енергоощадного напрямку визначаємо за виразом:

$$B_{i,НАПР} = \frac{K_{ПР}}{\sum_{i=1}^m K_{ПР}} \cdot 100 \% . \tag{3}$$

На підставі даних експертного опитування та розрахунків, виконаних за (1)-(3) складаємо таблицю пріоритетів енергоощадних напрямків (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати розрахунків черговості впровадження та ваги енергоощадних напрямків

Індекс	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	Визначення пріоритету		Пріоритет напрямку	Вага напрямку %
							сума	$K_{ПР}$		
$X_1$	0	1	0,9	0,7	0,9	0,7	4,2	0,140	5	14,2
$X_2$	1	0	0,9	0,7	0,5	0,7	3,8	0,127	6	12,2
$X_3$	1,1	1,1	0	1,1	1	1	5,3	0,177	3	17,3
$X_4$	1,3	1,3	0,9	0	0,8	0,5	4,8	0,160	4	16,3
$X_5$	1,1	1,5	1	1,2	0	1,5	6,3	0,210	1	21,4
$X_6$	1,3	1,3	1	1,5	0,5	0	5,6	0,187	2	18,3

Пріоритетність та вага енергоощадних напрямків з використанням діаграми Парето має вид, наведений на рис. 3.

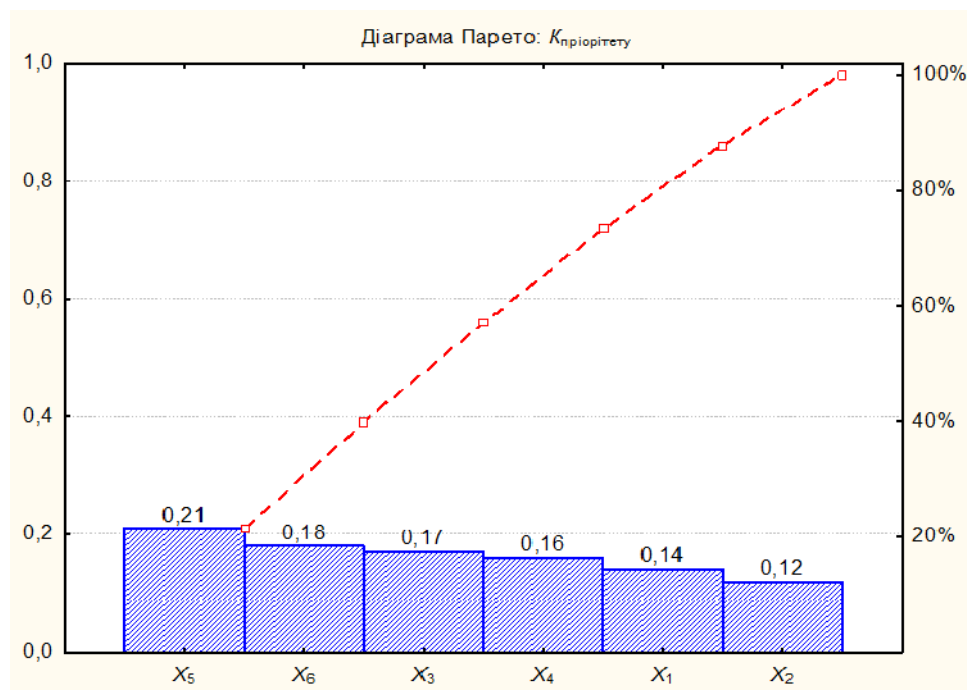


Рисунок 3 – Діаграма Парето з пріоритетністю та вагою напрямків енергоощадження у ВНЗ

Отримана діаграма ілюструє питомий внесок кожного з напрямків у загальну проблему управління енергоощадженням.

Подальшого підвищення рівня енергоефективності можна досягти шляхом впровадження служби енергетичного менеджменту в структуру управління енергозбереженням ВНЗ.

**Висновки.** Оптимізація вибору напрямків (зведеного комплексу заходів) з енергоощадження та визначення їх ваги дозволить підвищити обґрунтованість і точність прийняття управлінських рішень щодо впровадження заходів з енергоощадження та розподілу енерго-економічних ресурсів для вищих навчальних закладів, забезпечити комфортні умови праці і навчання відповідно до санітарно-гігієнічних вимог та водночас зменшити витрати на оплату комунальних послуг та енергоносіїв.

Створення нових та вдосконалення існуючих підходів до оцінювання рівня енергоефективності, побудова моделей та засобів моніторингу споживання енергії структурних об'єктів вищих навчальних закладів, а також визначення пріоритету

вибору енергоощадних заходів дозволить виявити та усунути основні джерела втрат теплової, електричної та інших видів енергії; оптимізувати паливно-енергетичні баланси; підвищити рівень енергоефективності за рахунок зменшення питомого енергоспоживання; сприяти покращенню стану екології тощо.

## Список літератури

1. ДСТУ 4713:2007 Енергозбереження. Енергетичний аудит промислових підприємств. Порядок проведення та вимоги до організації робіт. – [Чинний від 01.07.2007]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
2. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» / Затверджено наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів № 56 від 20.05.2010.
3. Булгакова М. Енергозбереження в Україні: правові аспекти і практична реалізація: навчально-практичний посібник / М. Булгакова, М. Приступа. – Рівне: О.Зень, 2011. – 48 с.
4. Соловей О.І. Енергетичний аудит: навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
5. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006 (на заміну СНиП П-3-79). – [Чинний від 2007-04-01]. – К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2007. – 60 с.
6. Муніципальна енергетика: шляхи підвищення ефективності [Електронний ресурс] / А.І. Шевцов, М.Г. Земляний, В.В. Вербинський // Регіональний філіал НІСД у м. Дніпропетровську. – Режим доступу : <http://www.niss.gov.ua/Monitor/Oktober/5.htm>.
7. Горлова Л.П. Организация функционально-стоимостного анализа на предприятии / Л.П. Горлова, Е.П. Крыжановская, В.В. Муровская. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 127 с.

**Valentine Tkachenko, PhD tech. sci.**

*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

**Kateryna Petrova, PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine*

### **Increasing the level of the energy efficiency of the higher education institutions by identifying order of priority of implementation ways of power saving**

Reducing the cost of funds for the purchases of the energy resources by increasing the level of the energy efficiency. The methods of comprehensive complex energy audit and analysis of the synthetic fuel and energy balance are used.

The possibilities of the energy saving are found and their ranking in order of priority of their implementation is conducted.

Taking into account the specificity of the object of the energy audit and the peculiarities of the regimes of the energy usage allowed to improve the model of the energy management system, which is to perform oversight functions concerning compliance of the norms and regimes of the energy usage and allows to systematize the priority tendencies and projects to increase the energy efficiency.

Results of the energy research allowed finding out the reserves of the energy saving and reducing costs on the payment for the energy carriers.

**energy efficiency, ways of power saving, priority of implementation**

Одержано 26.11.15

УДК 681.3

**Dmitro Trushakov, Assos. Prof., PhD tech. sci.***Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine***Serhiy Rendzinyak, Prof., DSc.***Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

## The application of hybrid training workshop during practical lessons of automation and electrical engineering

The article describes the use of hybrid research workshop in conducting workshops for majors automation and electrical disciplines. The proposed hybrid technique workshop when the students practical work is illustrated by the example of determining the reliability of a personal computing system. Practical work is divided into two stages. Stage 1 - the study of the theoretical part of the material to the performance calculations of the probability of failure-free operation of a personal computing system. Stage 2 - Perform interactive processing of theoretical material to the construction schedules of probabilities uptime and evaluation of the final result.. To perform the calculations Personal Computer is presented in terms of its separate modules.

**hybrid workshop, implementation of practical training, the reliability of the personal computing system, combined structure**

**Дмитрий Трушаков, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина*

**Сергей Рензиньяк, проф., д-р техн. наук**

*Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина*

**Использование гибридного учебного практикума при проведении практических занятий по автоматике и электротехнике**

В статье проведено исследование использования гибридного учебного практикума при проведении практических занятий по профилирующим дисциплинам автоматике и электротехническим дисциплинам. Предложенную методику гибридного практикума при выполнении студентами практической работы проиллюстрировано на примере определения надежности персонального компьютера. Выполнение практической работы разделено на этапы: использование теоретического материала и его интерактивная обработка для проведения расчетов вероятности безотказной работы персонального компьютера с построением графиков вероятностей безотказной работы и оцениванием конечного результата. Для выполнения расчетов персональный компьютер представлен в виде микропроцессорной системы, которая имеет сложную комбинированную модульную структуру.

**гибридный практикум, выполнение практических занятий, надежность персонального компьютера, комбинированная структура**

**Intrduction.** Nowadays modern higher education needs a new approach to better conduct not only laboratory work, but also for practical lessons. This applies particularly to profiling of technical subjects taught at the technical universities of Ukraine. For example, in the Institute of Electrical Power Engineering and Control Systems of the Lviv Polytechnic National University at the department of theoretical and general electrical engineering to improve the quality of the educational process is carried out hybrid laboratory practice [1, 2]. This approach divides the laboratory work into two phases:

– performing the experiment on physical model in which research is performed in real processes;

– performing mathematical experiment, so-called virtual simulation in which using specialized software the results are confirmed and defined additional characteristics of the investigated object.

Thus, laboratory practice for such an approach allows to combine in itself explain the physical aspects of electrical phenomena using computer analyzer that allows alternative resolve issues.

**Statement of the problem.** At department the automation of production processes of Kirovograd National Technical University for a number of disciplines, such as for example “Mathematical foundations of the theory of systems” in the practical sessions used classical approach using computer technology and software MATLAB type. However, other basic subjects, such as “Diagnosis systems and theory of reliability”, “Reliability of devices and systems automation” creates some problems.

**The main task of the article.** Modern education in carrying out practical work requires a combination of analytical part with computational modeling the final result. the solution of these problems is proposed in this paper.

**The main material.** The proposed structure of practical application of hybrid training workshop during practical lessons is shown in Figure 1.

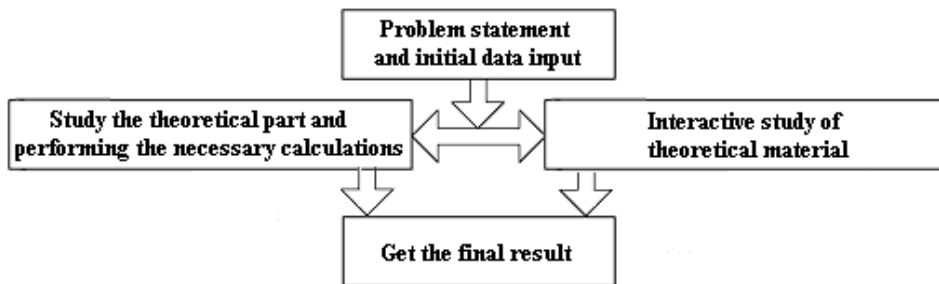


Figure 1 – The structure of practical application of hybrid training workshop during practical lessons

The proposed hybrid workshop during practical lessons enables:

- apply a standard approach to the study of theoretical material and carrying out the necessary calculations with electrical power engineering and control systems;
- ability to work with computer skills and gaining work with application software;
- interactive study of theoretical material according to the theme of practical work;
- the acquisition of skills assessment initial result, which is an important activity in modern systems analyst engineer.

To illustrate the proposed hybrid technique workshop with students performing practical work determine the reliability of the personal computer (PC). Implementation of practical work is divided into two stages.

Stage 1. Using theoretical material for the necessary calculations [3, 4, 6]. First, build a simplified block diagram of a typical PC as all major components with regard to their serial and parallel connections (figure 2).

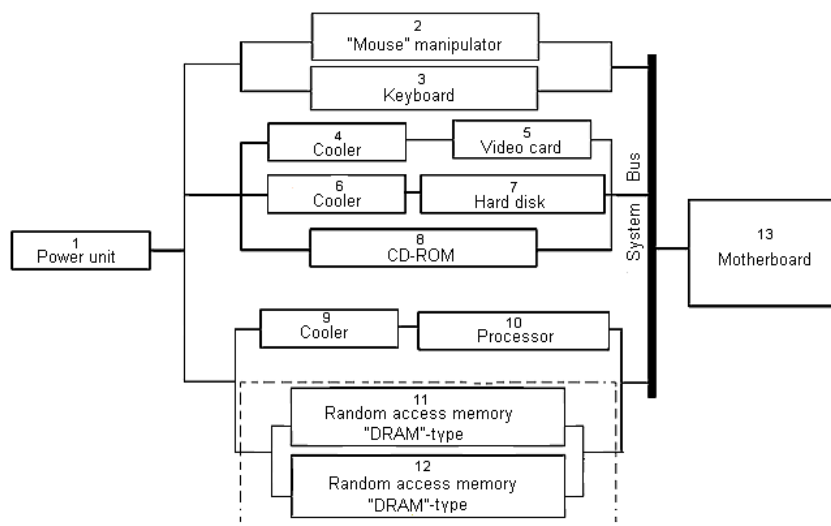


Figure 2 – Simplified block diagram of a typical PC

PC modules reliability [5] features are shown in table 1.

Table 1 – PC modules reliability features

№	Modules	Quantity $m_j$ , pcs.	Failure rate $\lambda_j \cdot 10^{-5}$ , 1/hour	Average operating time to failure $T_j \cdot 10^5$ , hours
1	Motherboard	1	5.0	0.2
2	Processor	1	0.1	6.6
3	Random access memory "DRAM"-type	2	0.5	2.0
4	Video card	1	2.6	0.375
5	Hard disk	1	1.0	1.0
6	CD-ROM	1	5.0	0.2
7	Keyboard	1	5.0	0.2
8	"Mouse" manipulator	1	5.0	0.2
9	Power unit	1	2.6	0.375
10	Cooler	3	0.76	1.3

For personal computer reliability calculation according to exponential distribution (lambda method) the following assumptions are admitted:

- failures of PC components (elements) are primary failures (independent);
- failure of any unit results in complete PC failure;
- basic data for calculation of the PC reliability measures are failure rate  $\lambda_j$  of PC components (elements);
- variation coefficient of operation time to failure of PC components is equal to one ( $v=1$ );
- distribution law of operating time to PC failure is described by exponential distribution:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \tag{1}$$

where  $\lambda$  – common failure rate of all PC components;

$t$  – PC working time.

$$\lambda = \sum_{j=1}^n m_j \lambda_j, \quad (2)$$

where  $m_j$  – quantity of the same type PC components in system unit;

$\lambda_j$  - failure rate for  $j$  type component.

Average operating time to failure  $T_{av}$  for PC is determined by equation:

$$T_{av} = 1/\lambda. \quad (3)$$

Personal computer reliability calculation using lambda-method with the help of PC modules characteristics shown in table 1 is performed in the following sequence [5]:

- determining average operating time to failure  $T_{av}$  for PC by equation:

$$T_{av} = \left( \sum_{j=1}^n m_j \cdot \lambda_j \right)^{-1} = (29.6 \cdot 10^{-5})^{-1} = 3381 \text{ hours}; \quad (4)$$

- determining gamma-percentile operating time to failure ( $\gamma=0,9$ ) for PC by equation:

$$T_{\gamma} = -T_{av} \cdot \ln \gamma = 3381 \cdot 0.1054 = 356 \text{ hours} \quad (5)$$

calculating reliability function (probability of failure-free operation taking into account given operating time  $t=1500$  hours:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = 0.64. \quad (6)$$

Probability of failure-free operation of two sequentially connected elements determining by equation:

$$P = P_1 \cdot P_2. \quad (7)$$

Probability of failure-free operation of two parallel connected elements determining by equation:

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2). \quad (8)$$

Calculating probability of failure-free operation for a logical simplified PC structure scheme (Fig.2) taking into account sequential and parallel connection of PC modules with considering the following:

- elements 4 and 5, 6 and 7, 9 and 10 create sequential connection. Hence, we replace them with quasiolements B, C, D accordingly;

- elements 2 and 3, 11 and 12, create parallel connection. Hence, we replace them with quasiolements A, E accordingly;

- elements B, C, 8 create parallel connection. Hence, we replace them with quasiolement F;

- elements D, E, create parallel connection. Hence, we replace them with quasiolement G;

- elements A, F and G, create parallel connection. Hence, we replace them with quasiolement H;

- elements 1, H and 13 create sequential connection. We receive general equation for calculating probability of failure-free operation for all logical simplified PC structure scheme:

$$P_{\gamma} = P_1 \cdot P_H \cdot P_{13}; \quad (9)$$

- determining the element with the least probability of failure-free operation among  $P_1$ ,  $P_H$  та  $P_{13}$  (element 13);

- determining wanted probability of failure-free operation of element 13

$$P'_{13} = \frac{P_{\gamma}}{P_1 \cdot P_H} = \frac{0.9}{0.9189 \cdot 0.9998} = \frac{0.9}{0.9188} = 0.9795; \quad (10)$$

- determining the value of failure rate for element 13

$$\lambda'_{13} = -\frac{\ln(P'_{13})}{T} = -\frac{\ln(0.9795)}{0.041} = \frac{0.0207}{0.041} \approx 0.51; \quad (11)$$

- receiving the value of probability of failure-free operation for PC with enlarged operating time and reduced failure rate

$$P' = P_1 \cdot P_H \cdot P'_{13}. \quad (12)$$

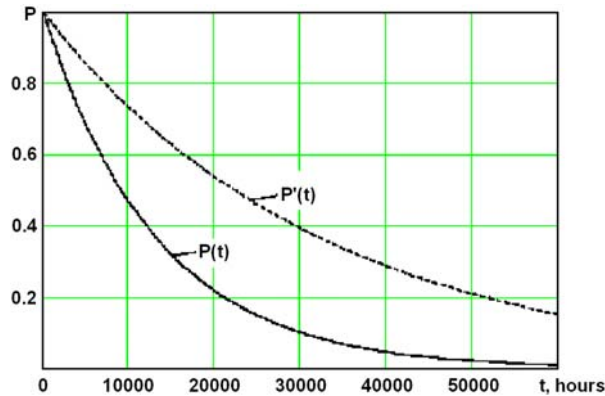
Calculation results of PC reliability values with the help of lambda method (exponential distribution) are shown in Table 2.

Stage 2. Interactive study of theoretical material on which the student shows the ability to work with a personal computer and the ability to work with application software..

Based on the results of calculations of reliability indices PC with lambda method, are shown in table 2, students using appropriate software build graphs probability uptime PC which shown in Figure 3.

Table 2 – Calculation results of PC reliability values with the help of exponential distribution (lambda method)

Element	$\lambda \times 10^{-5}$ , 1/hour	Operating time, $t \cdot 10^5$ , hours					
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1,5	2.6	0.7711	0.5945	0.4584	0.3535	0.2725	0.2101
2,3,8,13	5.0	0.6065	0.3679	0.2231	0.1353	0.0821	0.0498
4,6,9	0.76	0.9268	0.8590	0.7961	0.7379	0.6839	0.6338
7	1.0	0.9048	0.8187	0.7408	0.6703	0.6065	0.5488
10	0.1	0.9900	0.9802	0.9704	0.9608	0.9512	0.9418
11,12	0.5	0.9512	0.9048	0.8607	0.8187	0.7788	0.7408
A	-	0.8452	0.6004	0.3965	0.2524	0.1574	0.0971
B	-	0.7146	0.5107	0.3649	0.2608	0.1864	0.1332
C	-	0.8386	0.7033	0.5898	0.4946	0.4148	0.3478
D	-	0.9176	0.8420	0.7726	0.7089	0.6505	0.5969
E	-	0.9976	0.9909	0.9806	0.9671	0.9511	0.9328
F	-	0.9819	0.9082	0.7976	0.6770	0.5629	0.4628
G	-	0.9998	0.9986	0.9956	0.9904	0.9829	0.9729
H	-	0.9999	0.9998	0.9995	0.9977	0.9937	0.9869
P	-	0.4677	0.2187	0.1022	0.0477	0.0222	0.0103
13'	0.51	0.9612	0.9048	0.8607	0.8187	0.7788	0.7408
P'	-	0.7334	0.5379	0.3943	0.2887	0.2109	0.1536



$P(t)$  – Probability of failure-free operation of PC based on initial data  
 $P'(t)$  – Probability of failure-free operation of PC as a result of failure rate reduction

Figure3 – Probability of failure-free operation of PC

**Conclusions.** Based on the calculation of PC reliability and graphs probability of failure-free operation of PC student concludes reliability PC taking into account serial and parallel connection of its parts.

## References

1. Vasyl Korud, Orest Hamola, Serhiy Rendzinyak, Olena Gajduchok. The advantages of the hybrid laboratory work on electrical engineering. // Proceedings 16<sup>th</sup> International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). – Lviv, Ukraine. – 2015. – P. 81-83.
2. Коруд В., Гамола О., Рендзіняк С., Гайдучок О. Переваги гібридного лабораторного практикуму з електротехнічних дисциплін. // Матеріали VII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції “Електроніка та інформаційні технології” (ЕЛІТ-2015). – Львів-Чинадієво. – 2015. – С. 142-143.
3. Трушаков Д., Бірзул О. Визначення надійності персонального комп’ютера типу “IBM PC”. // Збірник наукових праць “Електроніка та інформаційні технології”. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка. – 2012. - Випуск 2. – С. 135-141.
4. Dmitro Trushakov, Dmitro Moshna. Investigation of the Reliability of Computing Systems. // Journal of applied Computer Science. – Lodz University of Technology, Poland. – 2012. – Vol. 20, No 2. – P. 131-140.
5. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматика. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.
6. Надійність приладів і систем автоматика. / Методичні вказівки для виконання практичних робіт з елементами кредитно-модульної системи організації навчального процесу спеціалістами та магістрами з напрямку підготовки 6.050201 “Системна інженерія” спеціалістами та магістрами спеціальності 7.05020101, 8.05020101 “Комп’ютеризовані системи управління та автоматика”. Укладач: Трушаков Д.В. – Кіровоград: РВЛ КНТУ. – 2013. – 44 с.

**Дмитро Трушаков, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет. м. Кіровоград, Україна*

**Сергій Рендзіняк, проф., д-р техн. наук**

*Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна*

### **Застосування гібридного навчального практикуму під час практичних занять з автоматика та електротехніки**

У статті досліджено особливості застосування гібридного навчального практикуму на практичних заняттях з профільюючих дисциплін автоматика та електротехнічних дисциплін. Запропоновану методику гібридного практикуму при виконанні студентами практичної роботи проказано на прикладі задачі визначення надійності персонального комп’ютера.

Виконання практичної роботи поділено на етапи: застосування теоретичного матеріалу та його інтерактивне опрацювання для проведення розрахунків ймовірності безвідмовної роботи персонального

комп'ютера з отриманням графічних зображень кривих ймовірностей безвідмовної роботи та оцінюванням вихідного результату.

Для проведення розрахунків персональний комп'ютер представлено як мікропроцесорну систему, яка має складну комбіновану модульну структуру.

**гібридний практикум, проведення практичних занять, надійність персонального комп'ютера, комбінована структура**

Одержано 13.11.15

УДК 629.423.315

**В.О. Черная, доц., канд. техн. наук**

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,  
г. Кременчуг, Украина, E-mail: chornajav@gmail.com*

## Разработка усовершенствованной конструкции тяговых двигателей постоянного тока для шахтных контактных электровозов

Статья посвящена анализу существующих способов охлаждения тяговых электрических машин рудничных электровозов, условий их эксплуатации в подземных выработках горнорудных предприятий. Рассмотрены известные конструктивные варианты тяговых электрических двигателей отечественного и зарубежного производства, выявлены их преимущества и недостатки. Предложен перспективный вариант конструкции тягового двигателя с принудительным охлаждением. Приведены основные преимущества рекомендуемого конструктивного варианта тягового электрического двигателя.

**електровоз, тяговий двигател, нагрів, вентиляція, надійність**

**В.О. Чорна, доц., канд. техн. наук**

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна*

**Розробка вдосконаленої конструкції тягових двигунів постійного струму для шахтних контактних електровозів**

Стаття присвячена аналізу існуючих способів охолодження тягових електричних машин рудничних електровозів, умов їх експлуатації в підземних виробках гірничорудних підприємств. Розглянуто відомі конструктивні варіанти тягових електричних двигунів вітчизняного та зарубіжного виробництва, виявлено їх переваги і недоліки. Запропоновано перспективний варіант конструкції тягового двигуна з примусовим охолодженням. Наведено основні переваги рекомендованого конструктивного варіанта тягового електричного двигуна.

**електровоз, тяговий двигун, нагрів, вентиляція, надійність**

**Постановка проблеми.** Известно, что используемые на современных типах рудничных контактных электровозов К14 тяговые электрические двигатели (ТЭД) типа ДТН-45, с их различными модификациями, по своему конструктивному исполнению и отсутствию действенной системы контроля параметров тяговых машин не соответствуют условиям эксплуатации в железорудных шахтах и требованиям служб эксплуатации внутришахтного транспорта (ВШТ) этих предприятий [1, 2].

Так, ПАО «Электромашина» (г. Харьков) – до недавнего времени отечественный монополист по выпуску двигателей ДТН-45 различных их модификаций – делал и

продолжает делать немало усилий по совершенствованию конструкции, начиная с предшественников нынешних ДТН-45 и ЭТ-45. Однако ожидаемого ощутимого совершенства пока не достигнуто, как не достигнуто это в той или иной мере в новых образцах тяговых двигателей производства Смелянского машиностроительного завода.

**Актуальность исследований.** Перед изыскателями-конструкторами ТЭД для тяговых электротехнических комплексов шахтных контактных электровозов при построении тактики выбора электрических параметров двигателей по-прежнему, как и ранее, стоит архиважная задача – достижение необходимо-ожидаемого уровня надежности и создание условий для максимально возможного приближения длительной мощности ТЭД к часовой. В значительной степени это связано прежде всего с вопросами охлаждения двигателей, поскольку уровень компенсации недостаточности естественной эксплуатационной вентиляции ТЭД искусственным путем в контексте габаритов и условий работы шахтных электровозов сопряжено с невозможностью решения данной проблемы известными способами [3, 4]. Суть задачи вентиляции ТЭД (как естественной, так и искусственной) заключается в отводе тепла при работе двигателя, что особенно актуально для охлаждения таких элементов ТЭД как якорь и обмотки элементов, располагаемых внутри двигателя, а, следовательно, наименее обдуваемых естественной струей воздуха [5].

**Постановка задания.** Усовершенствование конструкции тягового электродвигателя рудничного контактного электровоза с учетом необходимости улучшения отвода тепла в процессе его функционирования на электроподвижном составе в условиях железорудных шахт.

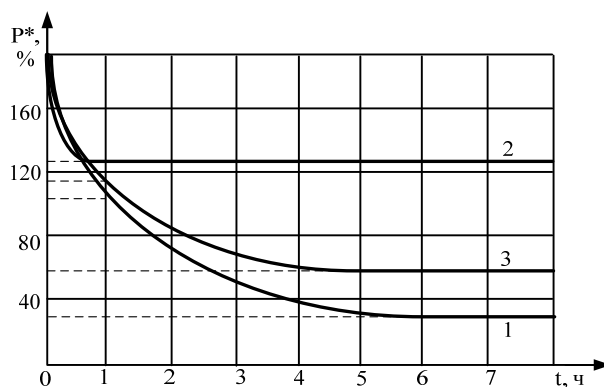
**Изложение основного материала.** Проблема охлаждения ТЭД является непростой для любого вида электрифицированного транспорта. В силу имеющихся возможностей каждого отдельно взятого вида транспорта эта проблема решается по-разному.

В частности, на магистральных и промышленных типах электровозов необходимую вентиляцию обеспечивают мотор-вентиляторы [6, 7]. Однако такой вариант, как и многие аналогичные, для условий отечественных шахтных электровозов неприемлем в силу жестких массогабаритных ограничений [8].

Следует отметить, что по видам охлаждения ТЭД подразделяются на:

- закрытые невентилируемые двигатели, к которым относятся большинство двигателей отечественных рудничных электровозов;
- двигатели с независимой вентиляцией от отдельных вентиляторов – двигатели зарубежных тяжелых электровозов;
- самовентилируемые двигатели с вентиляторами, устанавливаемыми на валу двигателя, – на отечественных тяжелых контактных электровозах.

В зависимости от вида системы вентиляции изменяются допустимые нагрузки ТЭД и их продолжительность (рис. 1). С усилением охлаждения ТЭД возрастает не только продолжительная мощность двигателя, но и часовая, правда в меньшей степени – 20–30 %. При независимом охлаждении можно несколько уменьшить размеры двигателя, но в целом за счет дополнительной вентиляторной установки размеры системы привода возрастают, возрастают также затраты, поэтому данный вариант на отечественных электровозах не нашел применения.



1 – естественное, 2 – независимое, 3 – самовентиляция

Рисунок 1 – Залежність допустимої навантаження від її тривалості при способах охолодження тягових електричних двигателів

На важких вітчизняних електровозах масою 14 т застосовані самовентильовані ТЭД за рахунок вентиляторів, встановлених на валу всередині двигача, і через вікна на кінцях двигача відбувається продувка. Це просте рішення, дозволившее більше ніж в 1,5 рази збільшити тривалу потужність (крива 3, рис. 1).

Враховуючи це, в цьому варіанті разом з повітрям в двигач потрапляє бруд, тим більше, що вентиляційні вікна розташовані зверху, а в рудничних умовах присутні вода і пилю. В інтересах підвищення надійності ця конструкція потребує доработки.

Таким чином, найбільш перспективним напрямком підвищення надійності ТЭД контактних електровозів – застосування примусової вентиляції для їх охолодження.

Опыт вєдущих зарубєжних електровозостроїтельних фірм США, Франції, Швеції, Німеччини показує, що примусове охолодження дозволяє на 30–35 % збільшити потужність ТЭД без збільшення габаритів і ваги. На електровозах, використовуваних на шахтах, охолодження ТЭД можливо здійснити тільки при подачі повітря в внутрішню порожнину двигача.

В ході тривалих досліджень, проводимих в науково-дослідницькому інституті (НИГРИ, г. Кривий Ріг) в кінці 70-х – в началі 80-х років минулого століття було встановлено, що однією з причин вихода з ладу ТЭД була недостатня їх вентиляція, що приводило до перегріву обмоток і інших частин двигача. Представлений варіант системи примусової вентиляції ТЭД був неідеальним і практично нереальним по ряду причин, в тому числі:

- из-за великих габаритів, виходящих за межі моторного отсека і таким чином, обмежують машиністу електровоза можливість огляду шляху руху;

- из-за великого моменту інерції вентиляційної установки, викликаючого необхідність застосування складної системи управління додатковим приводом вентиляторів для уникнення його пошкоджень при відриві токоємного пристрою від контактної лінії і наступним відновленням ланки живлення.

В останні п'ять років на вітчизняному ринку ТЭД для шахтних електровозів з'явилися двигачі СТК-45 виробництва ПАО «НПП «Смелянський електромеханічний завод» (г. Смела). Надійність цих двигачів порівняно з аналогами, випускаєми ПАО «Електромашіна», кілька вище. Але досягнуто

это в основном улучшенной пропиткой обмоток двигателей. Вентиляция же ТЭД осталась по-прежнему несовершенной, а стоимость этих образцов почти в два раза выше, чем производства ПАО «Электромашина».

Анализ конструкций ТЭД, разработанных зарубежными фирмами показывает, что наиболее реальными для отечественных условий разработки фирмы ASEA (Швеция), которая создала несколько адресных вариантов изготовления ТЭД для различных сцепных масс шахтных электровозов.

ТЭД фирмы ASEA мощностями 47 кВт (часовая) и 43 кВт (длительная) обладают следующими преимуществами:

- эффективная вентиляция от отдельных вентиляторов путем продувки в направлении коллектора, соединенного с двигателем гофрированной трубой;
- двигатель соединен с редуктором через упругие муфты с резиновыми прокладками;
- на валу ведущей шестерни устанавливается тормозное устройство;
- на редукторе установлен датчик скорости;
- заземляющая бронзовая щетка на валу колес.

На основании вышеизложенного, а также результатов исследований, представленных в [5, 8], объединенным научным коллективом Криворожского национального университета и Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского в 2007–2014 гг. был проведен этап работ по разработке предложений по желаемой конструкции тягового электродвигателя для рудничных электровозов типа К14. Для этого в лабораторных условиях был модернизирован серийно выпускаемый предприятием «Электромашина» тяговый двигатель ДТН-45М. Сделано это с целью унификации узлов двигателя и упрощения в последующем организации их серийного производства.

Основные отличия рекомендуемого двигателя от двигателя ДТН-45М следующие:

- применено принудительное охлаждение, позволившее увеличить мощность двигателя в продолжительном режиме в 3 раза;
- повышена безотказность работы двигателя;
- увеличен средний ресурс до списания в 1,5 раза;
- принята новая конструкция двигателя, которая должна предотвратить попадание масла из редуктора в его внутреннюю полость, а также исключить повреждение катушек главных и добавочных полюсов из-за механических воздействий и проворачивание щеткодержателей щеточного узла.

Новый двигатель предназначен для тягового электропривода рудничных контактных электровозов типа К14 в одиночном и спаренном режимах функционирования.

Основные параметры двигателя и вентиляторной установки для его охлаждения приведены в табл. 1. Общий вид двигателя рекомендуемой конструкции показан на рис. 1.

Выполнение ряда основных требований, предъявляемых к двигателям и в том числе показателя надежности, могут быть определены только при проведении длительных промышленных испытаний.

Эти положения необходимо принимать как основополагающие моменты при выборе тактики строения системы вентиляции и разработки алгоритмов управления ТЭД в анализируемых видах шахтных электровозов.

Таблица 1 – Технические параметры электродвигателя и вентиляторной установки

Наименование параметров	Единица измерения	Нормы ТЭД		Нормы вентиляторной установки
		Режим работы		
		Часовой	Продолжительный	
Мощность	кВт	45	36	1,5
Напряжение	В	250	250	250
Ток	А	204	163	-
КПД	%	88,2	88,3	-
Частота вращения	об/мин	1320	1420	2300
Частота вращения максимальная	об/мин	3000		-
Направление вращения	–	реверсивное		-
Исполнение по уровню взрывозащиты	–	РН		-
Степень защиты по ГОСТ 17494-72	–	IP52		-
Способ охлаждения по ГОСТ 20459-75	–	IC37		-
Способ возбуждения	–	последовательное		-
Давление	Па			350
Расход воздуха	м <sup>3</sup> /с			0,35

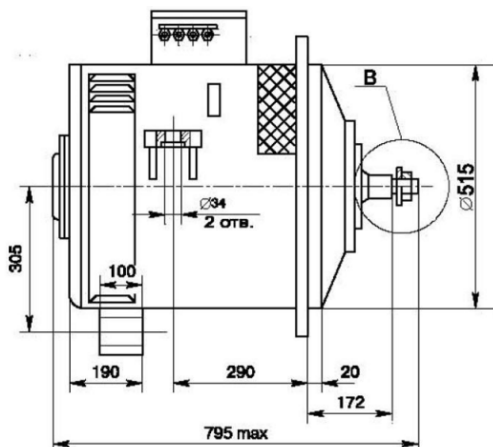


Рисунок 2 – Общий вид электрического двигателя рекомендуемой конструкции

**Выводы.** Проведенный анализ видов охлаждения ТЭД для условий рудничных контактных электровозов позволил выявить наиболее перспективные направления, заключающиеся в использовании дополнительно к естественной принудительной вентиляции. На основании исследований разработан модернизированный вариант ТЭД с принудительной вентиляцией, который в отличие от существующих обеспечивает улучшение показателей наработки на отказ с одновременным увеличением мощности продолжительного режима работы ТЭД.

### Список литературы

1. Дебелый, В. Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта [Текст] / В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый, С. А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – №6. – С. 30–31. – ISSN 0041-5804.

2. Найш, Н. М. Современный железнодорожный транспорт [Текст] / Н. М. Найш, Ю. В. Белецкий, А. В. Маслов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 18 (207). – С. 79–84. – ISSN 1998-7927.
3. Черная, В. О. К вопросу анализа поврежденных тяговых двигателей шахтных электровозов [Текст] / В. О. Черная // Молодь: наука та інновації : I Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених: матеріали конференції. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 421–422.
4. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Д. О. Кальмус, В. О. Черная // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – № 4 (87). – С. 44–50. – ISSN 1995-0519.
5. Синчук, И. О. Исследование тепловых режимов тяговых электрических двигателей рудничных контактных электровозов [Текст] / И. О. Синчук, В. О. Черная // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук, 2014. – № 1/2014 (2). – С. 98–100. – ISSN 2221-5160.
6. Пухов, Ю. С. Рудничный транспорт [Текст] / Ю. С. Пухов. – М. : Недра, 1991. – 238 с.
7. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд [и др.]. – М. : Транспорт, 1995. – 294 с. – ISSN 5-277-01462-4.
8. Черная, В. О. Анализ тепловых режимов тяговых электрических двигателей рудничных двоосных электровозов [Текст] / В. О. Черная, Я. В. Федорова, В. О. Черный // Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів. 20-24 квітня 2015 р. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2015. – С. 40.

**Viktorija Cherna, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*

**Development improved design direct current traction motors for mine contact electric**

The objective of the work is to improvement the design of the traction motor of an electric contact of mine with the need to improve the heat dissipation in the process of its operation on the electric rolling stock in the conditions of iron ore mines.

This article analyzes the existing methods of cooling the traction electric machines mine electric locomotives, their operating conditions in underground mining enterprises. The known structural variants of traction electric motors of domestic and foreign production, identified their advantages and disadvantages. We propose a perspective embodiment of the traction motor with forced cooling. The main advantages of the recommended structural variant of the traction electric motor.

Based on research developed an upgraded version of the traction motor with forced ventilation, which, unlike existing delivers improved performance MTBF while increasing power continuous operation of the engine.

**electric locomotives, traction motor, heating, ventilation, reliability**

Получено 25.11.15

УДК 004.925.8: 624.953: 004.03

**Д.В. Шевчук, асист.***Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна, E-mail: 00012066@ukr.net*

## Імітаційна модель діагностичного серверу системи моніторингу конструкцій в експлуатації

Розроблено структурну схему та імітаційну модель діагностичного серверу який є головною складовою системи моніторингу конструкцій в експлуатації побудованій на базі сучасної концепції Structural Health Monitoring. Проведено експериментальні дослідження роботи серверу, які підтверджують коректність його роботи. Досліджено та виправлено похибку імітаційної моделі при відображенні вимірюваних сигналів.

**імітаційна модель, діагностичний сервер, система моніторингу****Д.В. Шевчук, асист.***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г.Киев Украина***Модель диагностического сервера системы мониторинга конструкций в эксплуатации**

Разработана структурная схема и имитационную модель диагностического сервера который является главной составляющей системы мониторинга конструкций в эксплуатации построенной на базе современной концепции Structural Health Monitoring. Проведены экспериментальные исследования работы сервера, подтверждающие правильность его работы. Исследовано и исправлено ошибку имитационной модели при отображении измеряемых сигналов.

**имитационная модель, диагностический сервер, система мониторинга**

**Постановка задачі.** Моніторинг технічного стану конструкцій різного призначення є невід'ємною складовою забезпечення їхньої надійної, безаварійної та ефективної експлуатації. На сьогоднішній день проектування конструкцій у більшості випадків ґрунтується на принципі безпечного пошкодження. У межах цього принципу розглядається можливою наявність мікродефектів в елементах конструкцій, які не призводять до втрати працездатності та руйнування об'єкту. Це обумовлено тим, що на практиці є ряд факторів, які сприяють появі мікродефектів і які не завжди можуть бути враховані розрахунками конструкції на міцність і стійкість. До таких факторів, в першу чергу, відносяться конструктивні та технологічні похибки, а також експлуатаційні фактори, пов'язані з порушенням умов експлуатації та з впливом на об'єкт зовнішніх неконтрольованих збурень.

Експлуатаційні пошкодження можна розглядати як фізичне зношування під впливом системи руйнівних факторів, що в кінцевому результаті призводить до зменшення ресурсу, руйнування та експлуатаційної непридатності елементів конструкцій. Тому для безаварійної експлуатації таких об'єктів необхідно своєчасно виявляти початкові пошкодження, проводити моніторинг їхнього розвитку та прогнозування граничного стану.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі розроблених за останні десятиліття методів, методик і технологій діагностування було розроблено структуру комплексної інтелектуальної системи моніторингу [1]. Вона реалізує сучасну концепцію Structural Health Monitoring (SHM) [2]. Що передбачає активний моніторинг

технічного стану шляхом імітації нервової системи людини. Система датчиків встановлюється в найбільш навантажених місцях конструкції і за допомогою знятих з них даних проводиться контроль параметрів технічного стану. Використання новітніх методів обробки та аналізу інформації дозволяє здійснювати прийняття рішень про експлуатацію або ремонт конструкції на майбутнє. Так як ресурс певного матеріалу обмежений його характеристиками міцності, межі яких чітко встановлені, безперервний контроль за допомогою систем SHM дозволяє не тільки спостерігати структурні зміни певних ділянок, але і прогнозувати доцільність експлуатації даного вузла [3].

У сучасних системах SHM використовується велика кількість датчиків для реєстрації різних фізичних процесів, які є реакцією матеріалу конструкції на вплив, що призводить до пошкодження. Данні з первинних перетворювачів обробляються і передаються користувачеві чи виконавчому пристрою. Тому постає задача організації діагностичного процесу, а саме: отримання інформації; визначення параметрів, за якими проводитиметься діагностика; прийняття рішення про стан об'єкта; візуалізація; прогнозування стану.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка моделі діагностичного серверу для комплексної інтелектуальної системи моніторингу конструкцій в експлуатації.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних задач: розробка структурної схеми серверу; розробка імітаційної моделі діагностичного сервера; розробка віртуального приладу та інтерфейсу для керування, налаштування та користування діагностичним сервером; експериментальні дослідження роботи серверу.

**Інформаційна модель діагностичного серверу.** Діагностичний сервер є однією з головних частин комплексної інтелектуальної системи моніторингу і виконує наступні задачі: керування діагностичним процесом, отримання даних для подальшої обробки, візуалізації, збереження та передачі. Для його дослідження було розроблено структурну схему зображену на рис. 1.

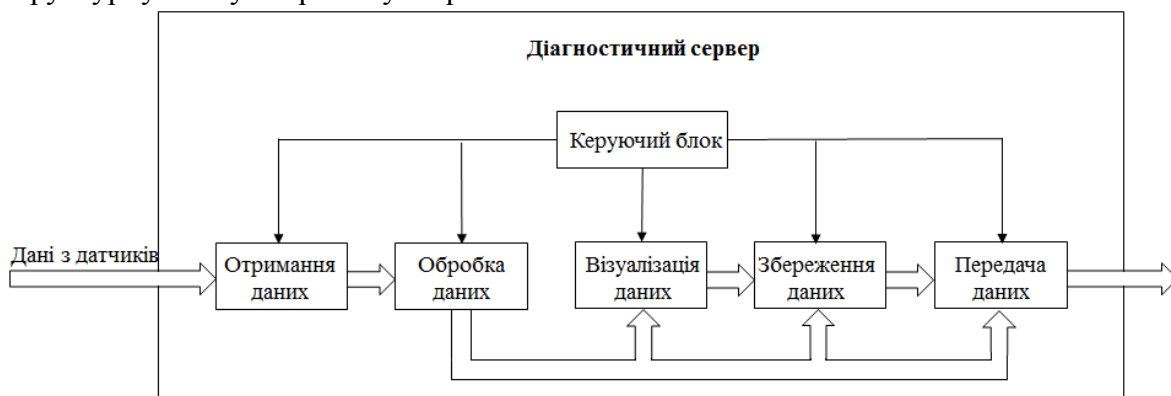


Рисунок 1 – Структурна схема діагностичного серверу

Оскільки розроблювана система моніторингу є багатоканальною виникає необхідність оптимізації кількості оброблюваної інформації. Тому було запропоновано декілька режимів роботи серверу:

1. Автоматизований режим збору даних у якому задаються початкові параметри для зняття даних і діагностики, всі процеси відбуваються автоматично, без втручання оператора. Є режимом роботи серверу за замовчуванням.

2. On-line режим при якому дані обраних датчиків знімаються у реальному часі (з можливістю вибору кількості вибірок за секунду для окремих датчиків); Реалізовано

можливість відображення сигналів та їх збереження на відведеному для цього дисковому просторі.

3. Режим вибіркової діагностики в якому задаються параметри зняття інформації і кількість опитуваних датчиків, дані можуть зніматися як у режимі реального часу, так і через задані часові періоди для кожного з датчиків. Режим вмикається на визначений проміжок часу.

Діагностичний сервер являє собою багаторівневу структуру, у якій кожен з рівнів виконує свої визначені функції, розглянемо їх:

1. Отримання даних. Реалізує структурування, первинну обробку та отримання сигналів з датчиків.

2. Інтерфейс доступу. Дозволяє проводити налаштування та керування діагностичним сервером, параметрами збору та обробки даних.

3. Діагностичний. Забезпечує збереження даних, визначення параметрів об'єкта (напруження, прогини конструкцій, просторове положення, вібраційні характеристики) проведення обчислень, аналізу, статистичної та аналітичної обробки результатів вимірювання за обраними методами та алгоритмами визначаються параметри, що характеризують технічний стан об'єкту та динамічні навантаження

Для реалізації імітаційної моделі діагностичного серверу використовувався

програмний комплекс LabVIEW, що дозволяє створювати віртуальні прилади.

Лицьова панель моделі серверу (рис. 2) містить вкладки:

– «Налаштування» містить поля для введення параметрів роботи серверу.

– «Сигнали», у даній вкладці відображаються сигнали у реальному часі, розміщені перемикачі збереження сигналів, також містяться кнопки для налаштування параметрів виводу сигналів.

– «Обробка», у даній вкладці відображаються спектри отриманих сигналів та результати обробки.

– «Збережені сигнали», у даній вкладці містяться інструменти для аналізу та відображення збережених сигналів.

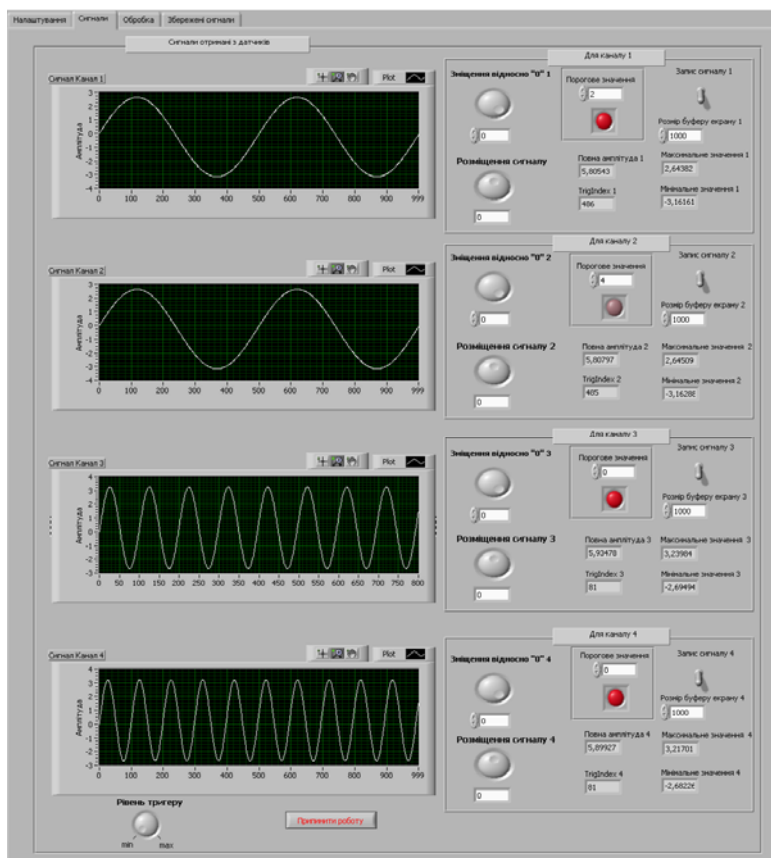


Рисунок 2 – Загальний вигляд вкладки «Сигнали» лицьової панелі віртуального приладу

Даний віртуальний прилад реалізує можливість синхронного багатоканального зчитування даних, які можуть бути отримані по каналам дротової або бездротової передачі сигналів. Під час використання дротової передачі сигнали надходять через зовнішній блок АЦП. Розроблена імітаційна модель має можливість задати необхідну

частоту дискретизації на канал, кількість опитуваних каналів, кількість точок, які будуть отримуватись з каналів при обробці сигналів, розмір внутрішнього буферу, який визначає кількість точок, які будуть відображатись на екрані (для кожного каналу індивідуально). Всі інші параметри збору даних встановлюються автоматично. Перевірка коректності роботи імітаційної моделі діагностичного серверу для комплексної інтелектуальної системи моніторингу проводилась на основі експериментальних досліджень.

**Експериментальні дослідження.** Для перевірки роботи моделі серверу на вхід АЦП подавались дані з генератора сигналів. Отримані сигнали відображались на лицевій панелі (рис. 1) та зберігались у файл (рис. 3), після чого перевірялась відповідність збережених і згенерованих сигналів. Згенеровані сигнали попередньо перевірялось на цифровому осцилографі. Дослідження проводились як при дротовій так і при бездротовій передачі даних. Після проведення розрахунків було встановлено, що відносна похибка відображення сигналу до 0.1 %. Таким чином, в результаті експериментальних досліджень за допомогою генератора сигналів, підтверджено працездатність інформаційної моделі при прийомі даних, як дротовим так і бездротовим шляхом.

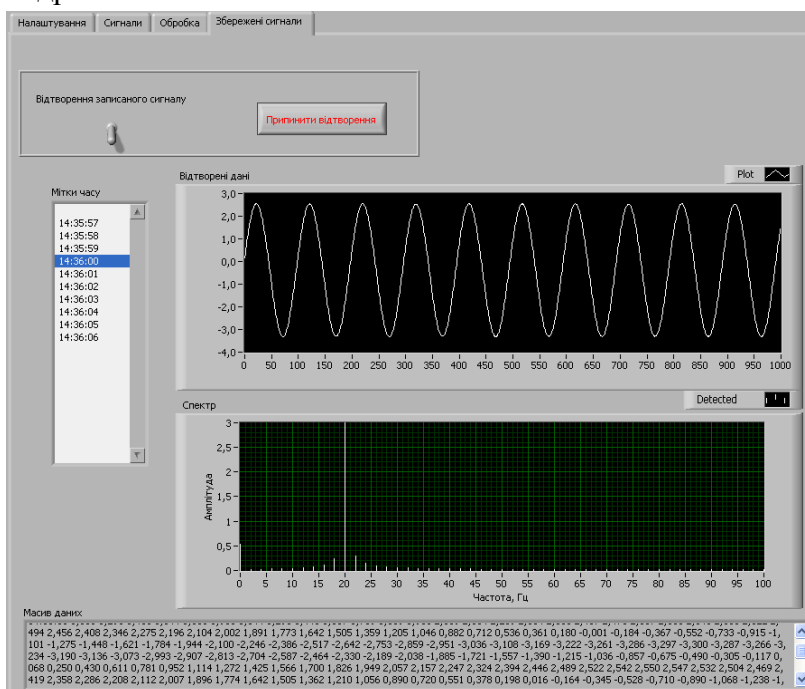


Рисунок 3 – Збережений експериментальний сигнал

Під час проведення досліджень виникла проблема пов'язана з зсувом відображення сигналу. Проаналізувавши схему імітаційної моделі було встановлено, що зсув відображеного сигналу відбувається через недостатній розмір буфера даних. Додатково було проведено дослідження оптимального розміру буфера даних, результати якого наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Дані експериментального дослідження оптимізації розміру буфера даних

Амплітуда і частота сигналу	Частота дискретизації, кГц	Мінімальна кількість точок, які передаються (для коректного відображення)	Розмір буферу екрану	Час відображення, мс
3В, 20Гц	2	200	100	5
3В, 20Гц	2	300	200	10
3В, 20Гц	2	400	300	15
3В, 20Гц	2	500	400	20
3В, 20Гц	2	600	500	25

## Продовження таблиці 1

ЗВ, 20Гц	2	700	600	30
ЗВ, 20Гц	2	800	700	35
ЗВ, 20Гц	2	900	800	40
ЗВ, 20Гц	2	1000	900	45
ЗВ, 20Гц	2	1100	1000	50
ЗВ, 20Гц	2	1200	1100	55
ЗВ, 20Гц	2	1300	1200	60
ЗВ, 20Гц	2	1400	1300	65
ЗВ, 20Гц	2	1500	1400	70
ЗВ, 20Гц	2	1600	1500	75

З отриманих результатів було встановлено залежність між величиною часу відображення сигналу та розміром буферу даних. У відповідності до отриманої залежності було внесено зміни до імітаційної моделі діагностичного серверу.

**Висновки.** Було розроблено структурну схему та імітаційну модель діагностичного серверу комплексної інтелектуальної системи моніторингу конструкцій в експлуатації. Розроблена модель являє собою багаторівневу структуру з трьома режимами роботи, в ній реалізовано можливості збереження, відображення, обробки та аналізу діагностичної інформації. Проведено дослідження залежності величина часу відображення сигналу від розміру буфера даних.

## Список літератури

1. Пат. № 73310 Україна, МПК G01 M 7/00. Інформаційно-діагностичний комплекс моніторингу і прогнозування технічного стану інженерно-будівельних споруд / Н.І. Бурау, О.В. Кузько, Ю.Г. Жуковський, С.О. Цибульник, Д.В. Шевчук, Заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – заявка № u 2011 15682, опубліковано 25.09.2012, Бюл. № 18. – 7 с. :іл.
2. Structural Health Monitoring 2003: From Diagnostics & Prognostics to Structural Health Menegment: Proceedings of the 4th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford University, Stanford, CA, September 15 – 17, 2003. – 1552 p.
3. Перспективы использования бортовых систем контроля выработки усталостного ресурса авиационных конструкций [Текст] / С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Н.И. Бурау, В.С. Краснопольский // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – Спец. випуск (Ч. 2). – С. 171 – 178.

### **Dmitry Shevchuk, assist.**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine*

### **Model of diagnostic server to monitoring system for constructions in use**

The aim of the research is to develop a model of diagnostic server to monitoring system for constructions in use

In the article designed the block diagram and simulation model of diagnostic server to monitoring system for constructions in use. The model is the multilevel structure with three operating modes. Model can store, display and processed diagnostic information. Researched depending between the value of time and the size of waveform data buffer.

Conclusion: performed an experimental research that confirms the accuracy of the simulation model.  
**simulation model, diagnostic server, monitoring system**

Одержано 30.01.16

УДК 621.372.632

**Д.А. Шокарев, доц., канд. техн. наук***Кременчуцкий национальный университет имени Михаила Остроградского, г.Кременчук, Украина, E-mail: seem@kdu.edu.ua*

## К вопросу исследования характеристик форм кривых выходного напряжения структуры инвертор напряжения – асинхронный двигатель

В работе проведен анализ, позволяющий повысить качество выходного напряжения при формировании широтно-импульсной модуляции (ШИМ) путем использования трапецеидального сигнала за счет снижения числа коммутаций при синхронности моментов переключения силовых транзисторов во всех фазах инвертора.

**широтно-импульсная модуляция, асинхронный двигатель, инвертор напряжения, несинусоидальность**

**Д.А. Шокарьов, доц. канд. техн. наук***Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м.Кременчук, Україна*

**До питання дослідження характеристик форм кривих вихідної напруги структури інвертор напруги - асинхронний двигун**

В роботі виконаний аналіз, який дозволяє підвищити якість вихідної напруги при формуванні широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) шляхом використання трапецеїдального сигналу за рахунок зниження числа комутацій при синхронності моментів перемикання силових транзисторів у всіх фазах інвертора.

**широтно імпульсна модуляція, асинхронний двигун, інвертор напруги, несинусоїдальність**

**Актуальность проблемы.** Анализ электромагнитных процессов в асинхронном электроприводе базовой структуры инвертор напряжения – асинхронный двигатель (АД), позволил сделать выводы, что в условиях, характерных для регулируемого электропривода, реальные значения потерь энергии значительны, а коэффициенты, характеризующие несинусоидальность кривой напряжения на АД имеют достаточные несогласованные с соответствующим ГОСТом значения [1]. Таким образом, существует необходимость их улучшения до номинальных значений, что может быть достигнуто выбором рациональной структуры системы привода и способа управления уровнем напряжения питания.

Для этого необходимо на основании анализа известных структур выполнить обоснование и установить рекомендации к применению законов регулирования напряжения питания АД [2].

**Материалы и результаты исследований.** Для решения этой задачи проведем анализ форм выходных напряжений при полном управлении, из которых образуются требуемые синусоидальные или трапецеидальные огибающие кривые (рис. 1).

Трехфазный инвертор при полном управлении выдает линейное напряжение прямоугольной формы (рис. 1, а), разложение которой в ряд Фурье имеет вид:

$$u = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_d \left( \sin \omega_s t - \frac{1}{5} \sin 5\omega_s t + \dots + (-1)^k \frac{1}{v} \sin v\omega_s t \right), \quad (1)$$

где  $v = 6k \pm 1, k = 0, 1, 2, 3 \dots$

$U_{m1} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_d = 1,1 U_d$  – амплитуда первой гармоники линейного напряжения;

$\tilde{U}_1 = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}} U_d = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U_d = 0,78 U_d$  – действующее значение первой гармоники

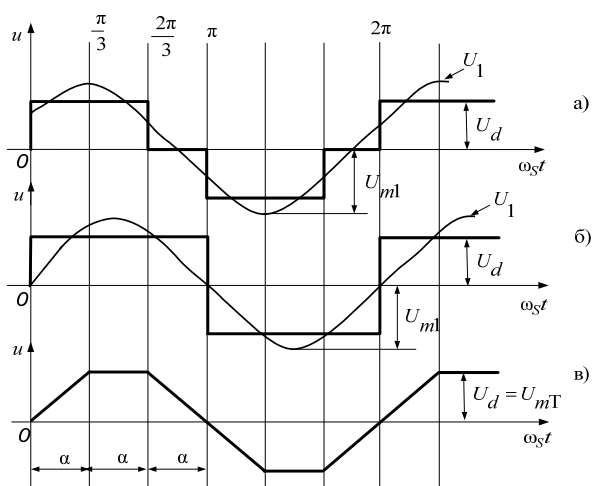
линейного напряжения;

$\tilde{U}_\Sigma = \sqrt{\frac{2}{3}} U_d = 0,816 U_d$  – действующее значение полной прямоугольной кривой

напряжения;

$K_H = \frac{\tilde{U}_1}{\tilde{U}_\Sigma} = \frac{3}{\pi} = 0,955$  – коэффициент искажения;

$K_d = \frac{U_{m1}}{U_d} = 1,1$  – коэффициент использования питающего напряжения.



а) для трехфазного инвертора;  
 б) однофазного моста при полном управлении;  
 в) однофазного моста при трапецеидальном управлении

Рисунок 1 – Диаграммы выходных линейных напряжений

б) Однофазный мост при полном управлении выдает линейное напряжение прямоугольной формы (рис. 1, б), разложение которой в ряд Фурье имеет вид

$$u = \frac{4}{\pi} U_d \left( \sin \omega_S t - \frac{1}{3} \sin^3 \omega_S t + \dots + \frac{1}{v} \sin v \omega_S t \right), \quad (2)$$

где  $v = 2k - 1, k = 1, 2, 3 \dots$

$$U_{m1} = \frac{4}{\pi} U_d = 1,273 U_d; \quad \tilde{U}_1 = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_d = 0,9 U_d; \quad \tilde{U}_\Sigma = U_d;$$

получим  $K_H = 0,9; K_d = 1,273$ .

в) Разложение в ряд Фурье трапецеидальной формы напряжения (рис. 2, в) дает в общем виде:

$$u = \frac{4}{\pi} U_d \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \sin \omega_s t - \frac{\sin 3\alpha}{9\alpha} \sin 3\omega_s t + \dots + \frac{\sin v\alpha}{v^2\alpha} \sin v\omega_s t \right), \quad (3)$$

где  $v = 2k - 1$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$

$$U_{m1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} U_d; \quad \tilde{U}_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} U_d; \quad \tilde{U}_\Sigma = U_d \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}};$$

получим  $K_H = \frac{2\sqrt{6}}{\sqrt{\pi(3\pi - 4\alpha)}} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}; K_d = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}.$

Максимальное значение коэффициента искажения  $K_H = 1$  имеет место при  $\alpha = 62$  эл. град. Из практических соображений принимаем  $\alpha = 60$  эл. град. ( $\frac{\pi}{3}$  рад.), тогда:

$$U_{m1} = \frac{12}{\pi^2} \cdot \sin \frac{\pi}{3} \cdot U_d = 1,053 U_d; \quad \tilde{U}_1 = \frac{1,053}{\sqrt{2}} U_d = 0,745 U_d; \quad \tilde{U}_\Sigma = \frac{\sqrt{5}}{3} U_d = 0,745 U_d;$$

получим  $K_H = 0,9989 = 1,0$ ;  $K_d = 1,053$ . При  $\alpha = \frac{\pi}{3}$  отсутствует третья гармоника в выходном напряжении моста. Наибольшая из высших гармоник имеет действующее значение:

$$\tilde{U}_5 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{\sin 5 \frac{\pi}{3}}{25 \frac{\pi}{3}} U_d = 0,03 U_d.$$

Коэффициент высшей гармоники:

$$K_v = \frac{\tilde{U}_5}{\tilde{U}_1} = \frac{0,03}{0,745} = 0,04, \text{ что менее } 0,06 \text{ допустимых по стандарту.}$$

Результаты анализа кривых сведены в табл. 1. Данные в таблице следует считать за максимум. Как видно из таблицы, наилучшие показатели качества дает трапецидальная форма, причем ШИМ напряжения используется только для формирования фронтов, формирования синусоиды тока не требуется.

Таблица 1 – Результаты анализа кривых

Рисунок 1	Схема. Форма выходного напряжения	$K_H = \frac{\tilde{U}_1}{\tilde{U}_\Sigma}$	$K_d = \frac{U_{m1}}{U_d}$	Примечания
б	Однофазный мост, прямоугольная	0,9	1,273	Есть третья гармоника
а	Трёхфазный инвертор, прямоугольная	0,955	1,1	Нет третьей гармоники
в	Однофазный мост, трапецидальная	1,0	1,053	Нет третьей гармоники

В то же время при формировании синусоиды тока из прямоугольников требуется ШИМ напряжения на протяжении всего периода выходного напряжения. В результате реальные коэффициенты искажения  $K_H$  и использования питающего напряжения  $K_d$  в вариантах (а) и (б) будут ниже табличных. Действительно, на периоде модуляции  $T_M$

при вершине максимальной интегральной огибающей синусоиды напряжения ( $\omega_s t = \frac{\pi}{2}$ ) должно быть:

$$\int_{\pi/2 - \omega_s T_M}^{\pi/2} U_{m1} \cdot \sin \omega_s t \cdot dt = U_d T_M,$$

откуда  $U_{m1} = U_d$ , с учетом соотношения частот  $\frac{f_M}{f_S} > 60$ .

Тогда в вариантах (а) и (б)  $K_d \leq 1,0$ .

Реально значение  $K_d \rightarrow 1,0$  при  $\frac{f_M}{f_S} \gg 60$ .

Соответственно  $K_{II} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  в варианте б;  $K_{II} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}} = 0,866$  в варианте

(а). Реальные значения коэффициентов при ШИМ напряжении приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Реальные значения коэффициентов при ШИМ напряжения

Вариант	Схема. Форма интегральной огибающей импульсов напряжения	$K_{II} = \frac{\tilde{U}_1}{\tilde{U}_\Sigma}$	$K_d = \frac{U_{m1}}{U_d}$
б)	Однофазный мост, синусоида	0,708	0,955...1,0
а)	Трехфазный инвертор, синусоида	0,866	0,955...1,0
в)	Однофазный мост, трапеция	1,0	1,053

Сравнение вариантов явно в пользу варианта с трапецидальной огибающей импульсов напряжения на выходе однофазного моста [3-4].

Для ШИМ по синусоидальному закону: в низкочастотной части спектр напряжения содержит только основную гармонику с частотой  $f_{\text{вых}}$  ( $k = 1$ ), а в области высоких частот группы комбинационных гармоник, расположенные вблизи частот, кратных частоте коммутации  $f_n$ .

Амплитуда основной гармоники при двухполярной ШИМ равна  $\frac{1}{2}UK_M$ , где  $U$  – напряжение источника питания (рис. 2 а).

На рис. 2, б представлены спектры выходного напряжения инвертора при трапецидальном законе формирования ШИМ при двухсторонней модуляции и фронта, и среза, частота коммутации  $f_k$ , коэффициент модуляции  $K_M = 0,5$ .

Частота  $n$ -й гармоники определяется:

$$f_k = af_n \pm bf_1, \quad (4)$$

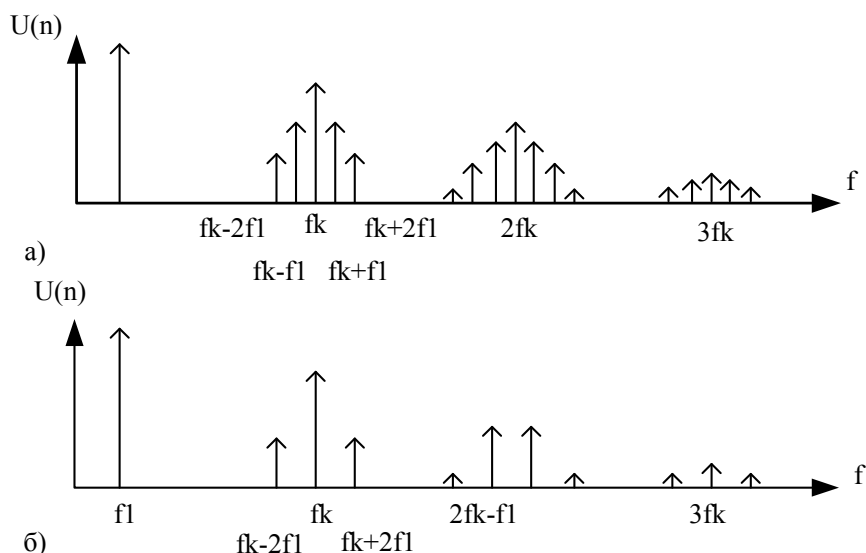
где  $f_1$  – основная частота 1-й гармоники;

$f_n$  – частота коммутации транзисторов инвертора;

$a$  – кратность группы высокочастотных гармоник;

$b$  – кратность основной частоты в группе основной гармоники.

Анализ гармонического состава выходного напряжения автономного инвертора напряжения (АИН), полученного в результате широтно-импульсной модуляции производился с частотой коммутации транзисторных ключей – 2 кГц.



а) при синусоидальной форме модуляции сигнала; б) при трапецидальной форме модуляции сигнала

Рисунок 2 – Спектры ШИМ напряжения

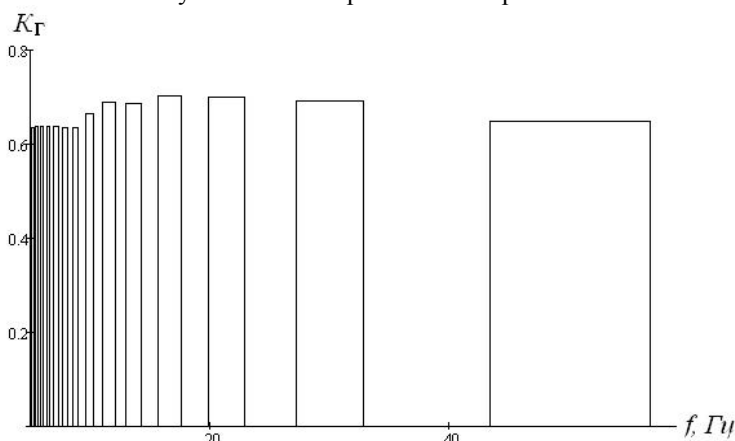


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента гармоник  $K_G$  от частоты  $f$  выходного напряжения АИН

Зависимость коэффициента гармоник  $K_G$  от частоты  $f$  выходного напряжения приведена на рис. 3. Как видим, наилучшие показатели коэффициента гармоник получены на частотах от 10 Гц до 30 Гц (которые для нас являются рабочими для двигателя), т. е. режим работы преобразователя на этих частотах будет наиболее эффективным.

Интенсивность высших гармонических составляющих в спектре ШИМ - последовательности характеризует коэффициент гармоник:

$$k_{Г.к} = \frac{C_{эКВ}}{C_1} = \frac{\sqrt{\sum_{k=A-w}^{A+w} C_k^2}}{C_1}, \tag{5}$$

где  $C_1$  – амплитуда основной гармоники выходного напряжения.

При известных параметрах нагрузки коэффициент  $k_{Г.к}$  позволяет определить коэффициент гармоник для выходного тока инвертора:

$$k_{Г.т} = k_{Г.к} \frac{Z(f_{ВЫХ})}{Z(f_к)}, \tag{6}$$

где  $Z(f_{\text{вых}})$  и  $Z(f_k)$  – модуль сопротивления нагрузки на выходной частоте и на частоте коммутации.

При двухсторонней модуляции фронтов в спектре трехфазной ШИМ уменьшаются гармонические составляющие вблизи частоты коммутации, но значительно растут составляющие в области второй гармоники частоты коммутации.

Эти гармоники, несмотря на вдвое большую частоту, могут заметно влиять на ток нагрузки, имеющей индуктивную реакцию для высших гармоник. Это влияние можно учесть введением дополнительного коэффициента гармоник

$$k_{г.2к} = \frac{\sqrt{\sum_{k=A-w}^{A+w} C_k^2 + \sum_{k=2A-w}^{2A+w} \left(\frac{C_k}{2}\right)^2}}{C_1}. \quad (7)$$

Подстановка значения  $k_{г.2к}$  вместо  $k_{г.к}$  в выражение (6) позволяет уточнить коэффициент гармоник для выходного тока инвертора.

В табл. 3 приведены полученные в результате модельного эксперимента значения коэффициентов гармоник  $k_{г.к}$  и  $k_{г.2к}$  (в %) для двухполярной однофазной ШИМ, реализуемой в схеме однофазного преобразователя для синусоидальной и трапецидальной форм напряжения

Таблица 3 – Значения коэффициентов гармоник

		Значения коэффициентов гармоник % при $K_m$ , равном									
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Однофазная ШИМ по фронту/срезу (синусоида)	$k_{г.к}$	53	64	76	88	100	111	122	130	137	140
	$k_{г.2к}$	55	65	77	90	102	115	128	139	149	156
Однофазная ШИМ по фронту/срезу (трапеция)	$k_{г.к}$	45	42	39	35	31	26	21	16	11,4	8,6
	$k_{г.2к}$	47	47	48	50	54	57	61	65	68	70

#### Выводы.

1. Проведенный анализ в работе позволяет сделать вывод, что при формировании варианта трапецидального сигнала качество выходного напряжения лучше за счет снижения числа коммутаций при синхронности моментов переключения силовых транзисторов во всех фазах инвертора.

2. Повышение частоты несущего сигнала приводит не к исключению ряда гармонических составляющих из спектра выходного напряжения, а к их перемещению в область более высоких частот.

Поэтому важным моментом при формировании ШИМ является выбор частоты коммутации силовых ключей преобразователя.

#### Список литературы

- ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- Преобразователь с непосредственной ШИМ напряжения для тягового асинхронного электропривода / Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, И. О. Синчук, Ю. Н. Кутовой // Технічна електродинаміка. Науково-прикладний журнал. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність» – Ч. 2 – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – С. 41–44. – ISSN 1607-7970.
- Декларацийний патент на корисну модель № 25450, Україна, НО2Р 5/74 Перетворювач з

- інвертором і напівпровідниковим вмикачем гальмових резисторів / Чернышев А. О., заявл. №12.03.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12, 2007 р.
4. Декларацийний патент на корисну модель № 67170, Україна, H02M7/00. Спосіб формування трапецеїдальної широтно-імпульсної модуляції напруги інвертора / Д. А. Шокар'єв, Є. І. Скапа / Патентовласник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3, 2012 р.

**Shokarov Dmytro, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyyi National University, Kremenchuk, Ukraine*

**On the question of research of characteristics of the output voltage waveforms structure of a voltage inverter-induction motor**

The analysis of the work leads to the conclusion that the formation of variants trapezoidal output voltage signal quality better by reducing the number of switching points during synchronous switching power transistors in all phases of the inverter.

Increase the frequency of the carrier signal does not lead to the exclusion of a number of harmonic components of the output voltage, and to their movement toward higher frequencies. Therefore, an important moment in the formation of a variety of pulse width modulation switching frequency inverter power switches.

**pulse width modulation, asynchronous motor, the inverter voltage nonsinusoidality**

Одержано 25.11.15

**УДК 621.316.1**

**І.В. Савеленко, викл.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,*

*E-mail: ivan.savelenko@gmail.com*

## **Математичне моделювання перехідних процесів в тяговій установці з синхронним двигуном на постійних магнітах за наявності пускових обмоток**

На основі розгляду рівнянь Парка-Горева та застосуванням спостерігача Люенбергера для системи автоматичного керування тяговою установкою, розраховано координати синхронного двигуна з постійними магнітами в перехідних процесах. Доведено переваги використання СДПМ з пусковими обмотками в порівнянні з СДПМ без них.

**синхронний двигун на постійних магнітах, спостерігач зниженого порядку, пускові обмотки, перехідний режим**

**І.В. Савеленко, препод.**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

**Математическое моделирование переходных процессов в тяговой установке с синхронным двигателем на постоянных магнитах при наличии пусковых обмоток**

На основе рассмотрения уравнений Парка-Горева и применения наблюдателя Люенбергера для системы автоматического управления тяговой установкой, рассчитаны координаты синхронного двигателя с постоянными магнитами в переходных процессах. Доказано преимущества использования СДПМ с пусковыми обмотками при сравнении с СДПМ без них.

**синхронный двигатель на постоянных магнитах, наблюдатель пониженного порядка, пусковые обмотки, переходный режим**

© І.В. Савеленко, 2016

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку гірничо-металургійного комплексу України спостерігається тенденція до збільшення об'ємів видобутку руди. Основним видом транспорту на рудних шахтах є контактні або контактено-акумуляторні електровози. В технологічному процесі видобутку сировини на транспортування припадає до 30 % від загальних витрат. Це обумовлює пошук шляхів підвищення енергетичних показників тягових установок.

Найпоширенішим типом двигунів, що використовується в тягових установках нашої країни, є двигуни постійного струму [1]. Проте, в якості приводів тягових установок все більшого поширення набувають синхронні двигуни на постійних магнітах (СДПМ), що обумовлене їх більш високими енергетичними характеристиками в порівнянні з двигунами постійного струму. Використання тягових електроприводів змінного струму стримувалось такими їх недоліками, як необхідність використання в якості джерела живлення частотного перетворювача напруги, відносно велика вартість та складність систем автоматичного керування (САК) [2]. Для покращення динамічних характеристик електроприводів тягових установок зі значним навантаженням, що характеризуються великою інерційністю та важкими умовами пуску-гальмування доцільно використовувати СДПМ з пусковими обмотками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [3] розроблено математична модель електроприводу з СДПМ в основу якої покладено математичний апарат на основі рівнянь Парка-Горева та теорію оптимального керування [2]. В роботі [4] проведено синтез систем автоматичного керування тягової установки з СДПМ без пускових обмоток та отримані закони оптимального регулювання для релейних регуляторів струмів та швидкості обертання. Необхідно зазначити, що промисловістю випускаються СДПМ з пусковими обмотками та без них. Тому розробка САК тягової установки на базі СДПМ з пусковими обмотками є актуальною.

**Мета роботи.** Розроблення математичної моделі синхронного двигуна з постійними магнітами за наявності пускових обмоток для розрахунку керуючих впливів в регуляторах САК тягової установки.

**Постановка задачі.** На основі застосування рівнянь Парка-Горева та спостерігача Люенбергера для САК тягової установки, визначити вплив струмів в пускових обмотках СДПМ у перехідних режимах.

**Виклад основного матеріалу.** Математична модель електроприводу з СДПМ без пускових обмоток, що побудована на основі рівнянь Парка-Горева розглянута в [3]. Врахування процесів, що протікають у пускових обмотках СДПМ призводить до ускладнення його математичної моделі. Тоді система рівнянь [3] набуває вигляду:

$$\begin{cases} u_d = i_d r_s + x_d p i_d + x_{dD} p i_D - \omega_R x_q i_q - \omega_R x_{qQ} i_Q; \\ 0 = i_D r_D + x_D p i_D + x_{dD} p i_d; \\ u_q = i_q r_s + x_q p i_q + x_{qQ} p i_Q + \omega_R x_d i_d + \omega_R x_{dD} i_D + \omega_R x_{dM} I_{M0}; \\ 0 = i_Q r_Q + x_Q p i_Q + x_{qQ} p i_q; \\ J p \omega_R = i_q (x_d i_d + x_{dD} i_D + x_{dM} I_{M0}) - i_d (x_q i_q + x_{qQ} i_Q) - M_3. \end{cases} \quad (1)$$

де  $u_d, u_q$  – складові напруги обмоток статора по осям  $d, q, В$ ;

$i_d, i_q$  – складові струму обмоток статора по осям  $d, q, А$ ;

$p = d/dt$  – оператор диференціювання;

$\omega_R$  – швидкість обертання ротору, рад/сек;

$r_s$  – опір фази статора, Ом;

$x_d, x_q$  – складові індуктивні опори обмоток статора по осям  $d, q, Ом$ ;

$I_{M0}$  – струм еквівалентної обмотки збудження, А;

$J$  – момент інерції рухомих частин,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;

$M_3$  – зовнішній момент на валу СДПМ;

$x_D, x_Q$  – складові струму еквівалентної пускової обмотки по осям  $d, q$ , А;

$x_{dD}, x_{qQ}$  – приведені опори до статорної обмотки еквівалентних пускових обмоток по осям  $d, q$ .

Виділивши з першого і третього та п'ятого рівнянь системи (1) складові, що характеризують перехресні зв'язки та зовнішні збурення та перейшовши до рівнянь у відхиленнях отримуємо систему рівнянь збуреного руху.

Позначимо складові, що характеризують перехресні зв'язки та зовнішні збурення через  $f_1, f_3$  та  $f_5$ :

$$\begin{cases} f_1 = -\omega_R x_q i_q - \omega_R x_{qQ} i_Q = -\omega_R (x_q i_q + x_{qQ} i_Q); \\ f_3 = \omega_R (x_d i_d + x_{dD} i_D); \\ f_5 = i_q (x_d i_d + x_{dD} i_D) - i_d (x_q i_q + x_{qQ} i_Q) - M_3. \end{cases} \quad (2)$$

Тоді, із урахуванням (2) система (1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} u_d = i_d r_s + x_d p i_d + x_{dD} p i_D + f_1; \\ 0 = i_D r_D + x_D p i_D + x_{dD} p i_d; \\ u_q = i_q r_s + x_q p i_q + x_{qQ} p i_Q + \omega_R x_{dM} I_{M0} + f_3; \\ 0 = i_Q r_Q + x_Q p i_Q + x_{qQ} p i_q; \\ J p \omega_R = i_q x_{dM} I_{M0} + f_5. \end{cases} \quad (3)$$

Позначимо траєкторію заданого руху індексом «\*» та введемо позначення параметрів не збуреного руху як  $u_d^*, u_q^*, i_d^*, i_D^*, i_q^*, i_Q^*, \omega_R^*$ . Враховуючі дані позначення введемо нові змінні:  $\eta_1 = I_d = i_d - i_d^*$ ;  $\eta_2 = I_D = i_D - i_D^*$ ;  $\eta_3 = I_q = i_q - i_q^*$ ;  $\eta_4 = I_Q = i_Q - i_Q^*$ ;  $\eta_5 = \Omega_R = \omega_R - \omega_R^*$ .

Звідки система диференціальних рівнянь руху СДПМ з пусковими обмотками прийме вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = \eta_1 (r_s + p x_d) + \eta_2 p x_{dD}; \\ 0 = \eta_1 p x_{dD} + \eta_2 (r_D + p x_D); \\ U_3 = \eta_3 (r_s + p x_q) + \eta_4 p x_{qQ} + \eta_5 x_{dM} I_{M0}; \\ 0 = \eta_3 p x_{qQ} + \eta_4 (r_Q + p x_Q); \\ 0 = \eta_3 x_{dM} I_{M0} - \eta_5 p J. \end{cases} \quad (4)$$

В роботі [3] проведено синтез системи автоматичного керування електроприводом з СДПМ та отримані закони оптимального регулювання для релейних регуляторів струмів та швидкості обертання. Із системи (4) синтез функції переключення дозволяє отримати закони оптимального керування для регуляторів струму  $i_d, i_q, i_D, i_Q$ , та швидкості  $\omega_R$ :

$$u_{id} = u_{ym} \operatorname{sign}(i_d^* - i_d) = -0,5 \operatorname{sign}(i_d); \quad (5)$$

$$u_{iq} = u_{yom} \operatorname{sign}(i_q^* - i_q) = 0,5 \operatorname{sign}(i_q^* - i_q). \quad (6)$$

$$u_{iD} = u_{yidm} \operatorname{sign}(i_D^* - i_D) = -220 \operatorname{sign}(i_D). \quad (7)$$

$$u_{iQ} = u_{yidm} \operatorname{sign}(i_Q^* - i_Q) = 220 \operatorname{sign}(i_Q^* - i_Q). \quad (8)$$

$$u_{\omega} = u_{ym} \operatorname{sign}\left(\omega_R^* - \omega - p \frac{x_Q x_q - x_{qQ}^2}{r_s r_Q} \omega\right) = 15 \operatorname{sign}(\omega_R^* - \omega + 1,03 p \omega). \quad (9)$$

Усі змінні в законах керування (5, 6, 9) піддаються безпосередньому вимірюванню, тому їх структурна реалізація не викликає принципових труднощів.

Змінні  $i_D$  та  $i_Q$ , які входять до складу законів керування (7) та (8) відповідно не можуть бути виміряні безпосередньо через значну технічну складність встановлення датчиків струму на пускових обмотках СДПМ. Тому, для їх оцінки доцільно скористатись спостерігачами стану зниженого порядку (спостерігач Люенбергера) [5].

В результаті проведеного синтезу спостерігачів Люенбергера для змінних стану  $i_D$  та  $i_Q$  отримані рівняння спостерігача Люенбергера для оцінки змінних стану  $\eta_2$  та  $\eta_4$  системи рівнянь (4).

Рівнянню (10) відповідає структурна схема, зображена на рис. 1.

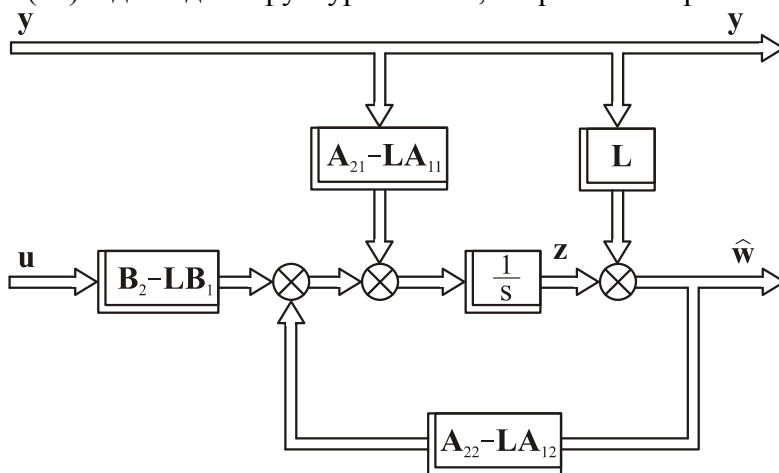


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема спостерігача Люенбергера

В результаті виконаного синтезу спостерігачів Люенбергера для змінних стану  $i_D$  та  $i_Q$  отримані рівняння спостерігача Люенбергера для оцінки змінних стану  $\eta_2$  та  $\eta_4$  системи рівнянь (4). В результаті проведеного аналізу системи (4) встановлено, дана система задовольняє критерію спостережності. Таким чином, узагальнене рівняння спостерігача Люенбергера має наступний вигляд [5]:

$$\dot{z}(t) = (A_{22} - LA_{12})z(t) + (A_{22} - LA_{12})Ly(t) + (A_{21} - LA_{11})y(t) + (B_2 - LB_1)u(t) \quad (10)$$

Структурна реалізація математичної моделі тягової установки з СДПМ за наявності пускових обмоток, зображена на рис. 2.

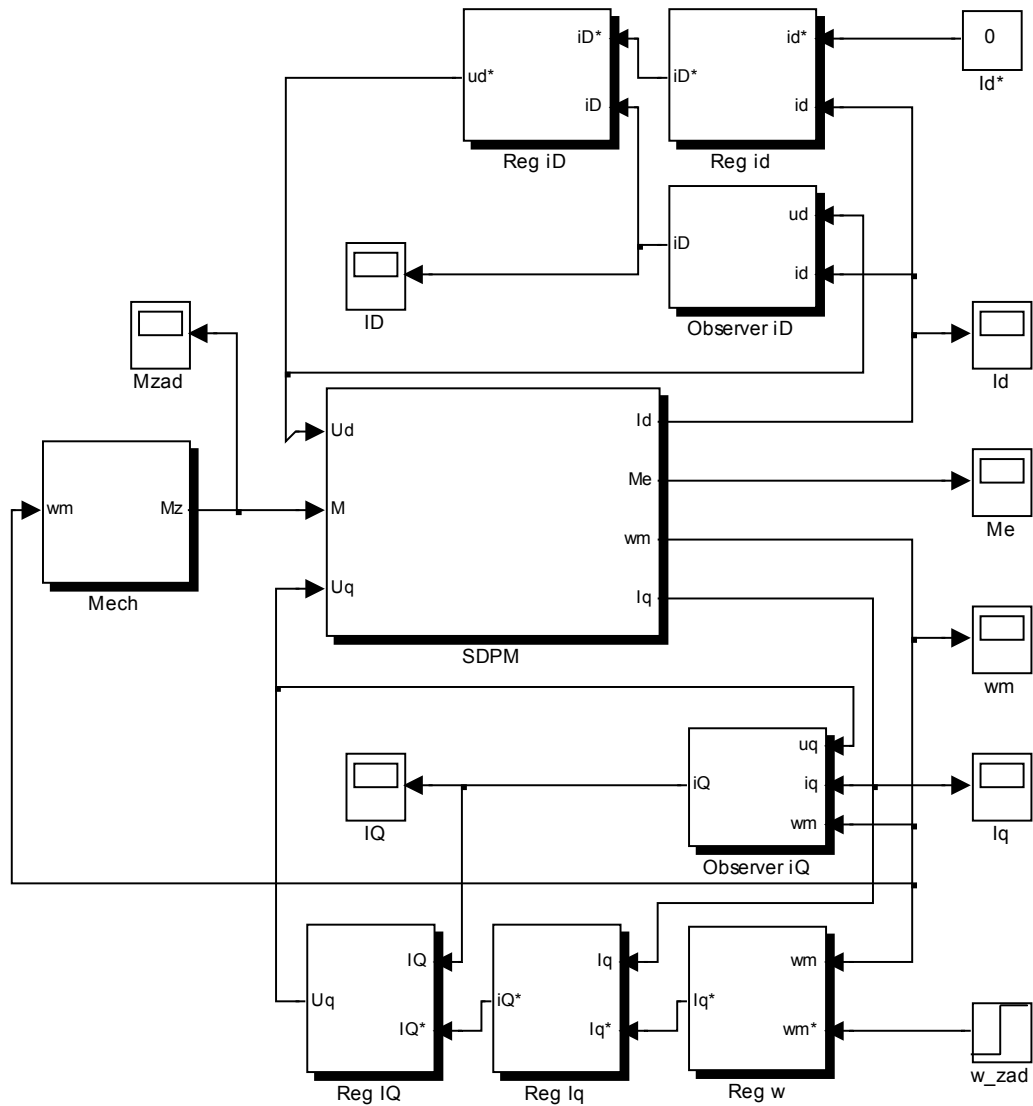
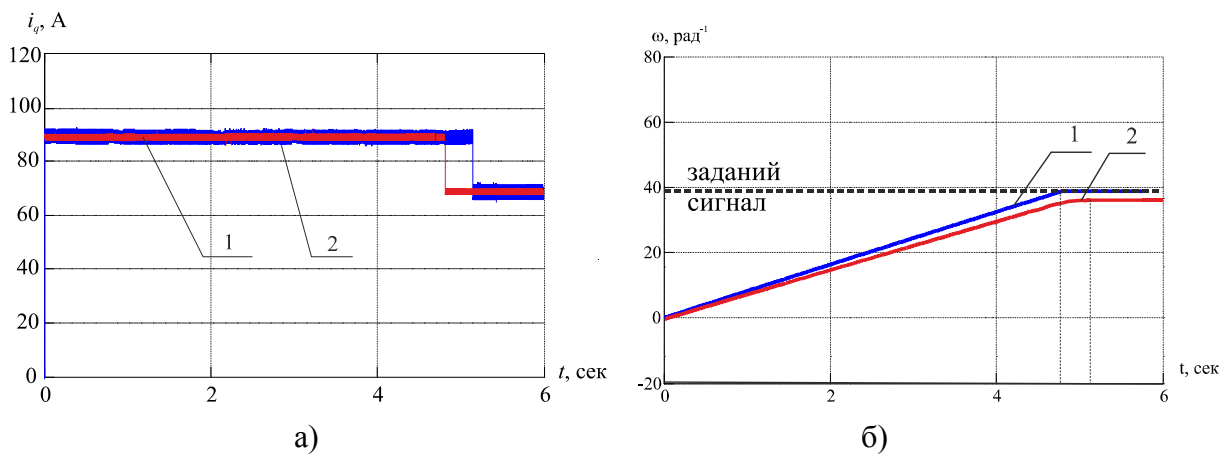


Рисунок 2 – Структурна реалізація математичної моделі тягової установки з СДПМ при наявності пускових обмоток

Результати комп'ютерного моделювання роботи САК тягової установки на основі СДПМ з пусковими обмотками наведені у вигляді графіків на рис. 3.



1 – розроблена модель САК, 2 – базова модель САК  
Рисунок 3 – Графіки зміни струму (а) швидкості обертання ротора (б)

Як видно з рис. 3, тривалість перехідного процесу зміни струму і швидкості у випадку розробленої моделі виявилась меншою на 7,63 %, ніж для моделі САК з СДПМ без пускових обмоток.

Крім того СДПМ з пусковими обмотками, в порівнянні з СДПМ без них, забезпечують більш м'який пуск та зменшення пульсацій пускового моменту.

#### **Висновки:**

1. Застосування спостерігача Люенбергера дозволило провести оцінку значень пускових струмів  $i_D, i_Q$  для моделі САК тягової установки на базі СДПМ з пусковими обмотками, що не піддаються безпосередньому вимірюванню.

2. Аналіз ефекту від застосування запропонованих САК показав, що тривалість перехідного процесу у випадку СДПМ із пусковими обмотками виявилась на 7,63 % меншою в порівнянні з моделлю САК з СДПМ без пускових обмоток[3].

#### **Список літератури**

1. Синчук О.Н. Шахтний електровозний транспорт. Теория, конструкции, электрооборудование: учебник / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, В.Л. Дебелий, Л.Л. Дебелий; под ред. доктора технических наук, профессора О.Н. Синчука. – Кривой Рог- Донецк: ЧП Щербатых А.В., 2015. – 428 с.
2. Терехов В. М. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова.– М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 301 с.
3. Плешков П. Г. Математичні моделі синхронних двигунів на постійних магнітах для синтезу систем автоматичного керування високоефективними електроприводами / П. Г. Плешков, І. В. Савеленко, А. В. Некрасов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – Вип. 3/2015 (92). – С. 26-34.
4. Савеленко І. В. Синтез системи автоматичного керування електроприводом на базі синхронного двигуна з постійними магнітами / І. В. Савеленко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць. – 2015. – №28. – С. 309–316.
5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н.Т. Кузовков. – М. Машиностроение, 1976. – 184 с.

#### **Ivan Savelenko, Lecturer**

*Kirovograd National Technical University, Kirovohrad, Ukraine*

#### **Mathematical modeling of transients in traction drive with synchronous motor on the permanent magnets with of starting winding**

The development of a mathematical model of synchronous motor with permanent magnets in the presence of starting windings to calculate of controlling influences in the regulators ACS of traction drive.

Based on consideration of equations Park-Gorev and use of observer Luenberger for automatic control system traction drive, calculated coordinates of the synchronous motor with permanent magnets in the transition process. Proven advantages of SDPM with windings of starts compared to SDPM without them.

The use of observer Luenberger allowed to assess the value of starting current model ACS traction system based on SDPM of starting windings that can not be directly measured. Analysis of the effect from the application of the proposed ACS showed that the length of the transition process in the case of SDPM with launchers windings appeared at 7.63% compared with the model of ACS SDPM without launchers windings.

**automatic control systems, electric drive, synchronous permanent magnet motor**

Одержано 22.03.16

## ЗМІСТ

## ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

<i>В.В. Аулін, О.М. Лівіцький, О.М. Замота</i> Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві .....	3
<i>Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, О.А. Кислун</i> Перспективні напрямки вдосконалення конструкцій технічних засобів для подрібнення рослинних решток.....	13
<i>Д. А. Дерев'яно</i> Дослідження травмування насіння робочими елементами протруювача при проходженні технологічного процесу .....	18
<i>А.В. Гриньків</i> Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів.....	25
<i>С.О. Квітка, Д.М. Нестерчук, О.С. Квітка</i> Електроакустична система дозування компонентів кормових сумішей .....	33
<i>В.Л. Куликівський, В.М. Боровський, В.К. Палійчук</i> Аналіз процесу переміщення зернового матеріалу аераційним транспортером .....	39
<i>П.Г. Лузан, О.Р. Лузан, Д.І. Петренко</i> Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна .....	46
<i>О.Й.Мажейка, В.М. Каліч, С.І. Маркович</i> Розрахунок надійності зернозбиральних комбайнів за критерієм оптимальності ходової системи .....	53
<i>С.А. Мартиненко, Т.М. Ауліна, Д.Ю. Артеменко</i> Теоретичне обґрунтування параметрів вібраційного висіву .....	58
<i>С.І. Осадчий, М.О. Федотова, І.О. Скриннік, І.А. Березюк</i> Про вибір датчика вологості при неповних вимірах вихідних сигналів зерносушарки з киплячим шаром .....	64
<i>О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов</i> Аналіз постачальних пристроїв установок безперервної дії для завантаження сипких матеріалів з одним блоком завантажувальних секцій.....	69
<i>А. А. Панков</i> Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства .....	76
<i>В.В. Савченко, О.Ю. Синявський</i> Передпосівна обробка насіння овочевих культур у магнітному полі.....	83

<i>О.В. Оришака, А.М. Артюхов</i> Дослідження стабілізатора установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів .....	88
---	----

### ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>В.В. Аулін, О.В. Кузик, В.М. Кропівний</i> З'ясування природи процесів структурних та фазових перетворень в залізвуглецевих сплавах на основі утворення молекулярної форми вуглецю .....	94
---	----

<i>М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф.</i> Повышение качества финишной обработки отверстий.....	104
--	-----

<i>І.Ф. Василенко</i> Фізичні процеси при формуванні композиційних покриттів контактним наварюванням порошкових дротів .....	111
--	-----

<i>І.І. Павленко, Д.В. Вахніченко, А.В. Кропівна,</i> Визначення крутного навантаження МПС при свердлінні експериментальним методом .....	118
---	-----

<i>В. О. Кондратець, А. М. Мацуї</i> Дослідження перемішування матеріалів у кульовому млині як багатовимірному керованому об'єкті .....	122
---	-----

<i>В.М. Ломакін, В.В. Клименко, В.В. Пукалов, А.В. Ломакін</i> Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних випусків чавунних цильпесів .....	132
---	-----

<i>І.І. Павленко, П.В. Попруга</i> Алгоритм та програмний модуль побудови кінематичних схем промислових роботів .....	139
---	-----

<i>П.В. Сергєєв, В.С. Білецький</i> Вплив складу та властивостей реагентів на ефективність селективної масляної флокуляції тонкодисперсного вугілля .....	144
---	-----

### АВТОМАТИЗАЦІЯ

<i>В.А. Бісюк, В.М. Каліч, О.К. Дідик</i> Автоматизація процесу нанесення композиційних покриттів при неперервно- послідовному індукційному наплавленні .....	152
---	-----

<i>Н.І. Бурау, А.І. Вознюк, В.В. Цісарж</i> Система стабілізації та наведення для наземних рухомих об'єктів на базі АНRS.....	155
--	-----

<i>Ю.Н. Веприк, О.А. Небера, А.П. Свиридов</i> Математическая модель переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой и ее программная реализация .....	161
--	-----

<i>Л.Г. Віхрова, В.М. Калич, Т.А. Прокопенко</i> Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці .....	168
<i>О.Й. Гонсьор</i> Вимірювальний перетворювач для дослідження сільськогосподарської продукції за імітансом .....	173
<i>Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко</i> Побудова інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання в системах комунального водопостачання .....	178
<i>Р. В. Жесан, О. П. Голик, А. А. Попок</i> Шляхи енергозбереження у комунально-побутовому господарстві України в світлі зростання тарифів та більш широкого запровадження відновлюваних джерел енергії.....	185
<i>В. В. Іващук, А. П. Ладанюк</i> Мінімізація втрат енергії під час реалізації змін продуктового асортименту.....	192
<i>В.В. Клименко, І.О. Переверзєв, Н.В. Ковальчук</i> Підвищення енергоефективності концентрування водних розчинів виморожуванням .....	197
<i>Martin Klempa; Petr Vujok; Michal Porzer; Nikola Janečková</i> Used to Monitoring of Rock Mass Temperature Changes during Application of Heat Pumps .....	204
<i>О.А. Козловський, А.Ю. Орлович</i> Математична модель прогнозування ожеледоутворення на проводах повітряних ліній електропередачі.....	213
<i>В.О. Кондратець, О.М. Сербул</i> Оптимізація точності прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням .....	221
<i>А.І. Котиш, П.Г. Плешков, А.Ю. Орлович, О.І. Сіріков, А.В. Некрасов</i> Розробка та експериментальне дослідження фіксатора коротких замикань для повітряних електричних мереж напругою 110 – 150 кВ .....	228
<i>М.С. Мірошніченко, В.О.Зубенко, Т.О. Прокопенко</i> Моделювання нейро-мережевого керування температурно-вологісним режимом у теплиці .....	235
<i>А.З. Музичак</i> Методика і практика енергетичного аудиту підприємств комунальної теплоенергетики .....	240

<i>П.Г. Плешков, В.Б. Бондаренко, С.В. Серебренніков, І.В. Савеленко, К.Г. Петрова</i> Оптимізація процесу використання електричної енергії за результатами енергоаудиту .....	247
<i>П. Г. Плешков, В. П. Солдатенко, М. В. Кубкін</i> Математична модель гібридної енергосистеми .....	256
<i>И.О. Синчук, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко</i> Специфика моделирования возобновляемых источников энергии в среде Homer Energy с целью реализации мероприятий по повышению электро-энергоэффективности железорудных предприятий .....	262
<i>О.А.Стенін, О.М.Польшакова, С.О.Стенін</i> Системний принцип побудови автоматизованих навчальних систем .....	269
<i>В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова</i> Підвищення рівня ефективності енергоспоживання вищих навчальних закладів за рахунок виявлення почерговості впровадження заходів з енергоощадження .....	275
<i>Dmitro Trushakov, Serhiy Rendzinyak</i> The application of hybrid training workshop during practical lessons of automation and electrical engineering .....	281
<i>В.О. Черная</i> Разработка усовершенствованной конструкции тяговых двигателей постоянного тока для шахтных контактных электровозов .....	287
<i>Д.В. Шевчук</i> Імітаційна модель діагностичного серверу системи моніторингу конструкцій в експлуатації .....	293
<i>Д.А. Шокарев</i> К вопросу исследования характеристик форм кривых выходного напряжения структуры инвертор напряжения – асинхронный двигатель .....	298
<i>І.В. Савеленко</i> Математичне моделювання перехідних процесів в тяговій установці з синхронним двигуном на постійних магнітах за наявності пускових обмоток .....	304

## CONTENT

### MACHINERY IN AGRICULTURAL PRODUCTION

<i>Viktor Aulin, A. N. Livitskiy, O. N. Zamota</i> Methodology of choice and management by efficiency of the use of technique in an agricultural production .....	3
<i>Dmitriy Bohatyrov, Vasyl Salo, Oleg Kuslyn</i> Perspective directions of improving the design of means for crushing plant residues .....	13
<i>Dmitro Derevyanko</i> Research work injury seed dressers elements during the passage of the process .....	18
<i>Andriy Grinkiv</i> Using forecasting techniques to manage the technical condition of units and vehicles .....	25
<i>Kvitka Sergei, Nesterchuk Dina, Kvitka Aleksandr</i> Electro Acoustic System of Dispensing Feed Mixtures Components.....	33
<i>Vladimir Kulykivskiy, Victor Borovskiy, Vladimir Paliychuk</i> Analysis of the movement of grain aeration material conveyor .....	39
<i>Petro Luzan, Olena Luzan, Dmitry Petrenko</i> Substantiation of sieve parameters for grain separation.....	46
<i>Oleksandr Mazheyka, Viktor Kalich, Sergiy Markovich</i> Calculation of reliability of combine harvesters for optimality criterion running system .....	53
<i>Sergiy Martinenko, Tetyana Aulina, Dmitry Artemenko</i> Theoretical ground of parameters of the oscillation sowing.....	58
<i>Sergey Osadchy, Marianna Fedotova, Ivan Skrynnik, Irina Berezyk</i> On the choice of the humidity sensor at incomplete measurement of the output signals of the dryer fluidized bed.....	64
<i>Oleg Oryhsaka, Vasily Gutsul, Anatoly Artiuhov</i> Analysis of the feed device of the units continuous loading of free-flowing materials with a single block boot sections .....	69
<i>Andrej Pankov</i> Devices and methods of automatic control at the basis of pneumojet elements in facilities of mechanization of agriculture.....	76
<i>Vitaliy Savchenko, Aleksandr Sinyavsky</i> Presowing treatment of vegetable seeds in a magnetic field.....	83
<i>Oleg Oryhsaka, Anatoly Artiuhov</i> Investigations of the stabilizer devices of continuous operation for loading free-flowing materials .....	88

## INDUSTRY MACHINE BUILDING

<i>Viktor Aulin, A. Kuzyk, Volodymyr Kropivnyi</i> Clarification of the nature of the processes of structural and phase transformations in iron-based alloys of carbon molecular form .....	94
<i>Mykhaylo Chernovol, Ihor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.</i> Increasing of quality of perforation finishing .....	104
<i>Ivan Vasylenko</i> Physical processes in the formation of composite coatings resistance welding flux-cored wires.....	111
<i>Ivan Pavlenko, Dmitriy Vakhnichenko, Alyona Kropivna</i> Determination of torsional load MPK drilling experimentally .....	118
<i>Vasily Kondratets, Anatolii Matsui</i> The research of materials mixing in a ball mill as a multidimensional managed object .....	122
<i>Viktor Lomakin, Vasil Klimenko, Viktor Pukalov, Lomakin Andriy</i> Investigation of the kinetics crystallization effect on the properties of the castings of the cast-iron grinding bodies.....	132
<i>Ivan Pavlenko, Pavel Popruga</i> Algorithm and program module of creation of kinematic schemes of industrial robots.....	139
<i>Pavlo Sergeev, Volodymyr Biletsky</i> Effect of composition and properties reagents on the efficiency of selective oil-flocculation of fine coal .....	144

## AUTOMATION

<i>Viktor Bisuk, Viktor Kalich, Olexandr Didyk</i> Automating the process of applying composite coatings with continuously-sequential induction welding.....	152
<i>Nadiia Bouraou, Anton Vozniuk, Viacheslav Tsisarzh</i> Stabilization and pointing system for land moving objects based on AHRS.....	155
<i>Veprik Yuriy, Nebera Olga, Albert Sviridov</i> A mathematical model transients in power supply systems with motor load and its software implementation .....	161
<i>Larisa Vihrova, , Viktor Kalich, Tetyana Prokopenko</i> Adaptive automated system for the collection and control of the basic parameters of the microclimate in the greenhouse .....	168
<i>Oksana Gonsor</i> Measuring transducer for the study of agricultural products impedance .....	173

<i>Liudmyla Davydenko, Volodymyr Davydenko</i> Construction of the information space of energy consumption efficiency monitoring in municipal water supply systems.....	178
<i>Roman Zhesan, Olena Golik, Anastasiya Popok</i> Ways of energy-savings in the communal domestic economy of Ukraine in the light of growth of tariffs and more wide introduction of renewable energy sources.....	185
<i>Ivaschuk Vjacheslav, Anatolii Ladaniuk</i> Minimize energy losses for implementation of changes of product range .....	192
<i>Vasyl Klymenko, Igor Pereverzev, Natalya Kovalchuk</i> Increasing energy efficiency of concentrating aqueous solutions using freeze .....	197
<i>Martin Klempa; Petr Bujok; Michal Porzer; Nikola Janečková</i> Used to Monitoring of Rock Mass Temperature Changes during Application of Heat Pumps .....	204
<i>Oleksandr Kozlovskyyi, Anatolij Orlovich</i> Mathematical model predicting icing on the wires overhead lines.....	213
<i>Vasily Kondratets, Alexander Serbul</i> Optimization of forecasting accuracy ratio ore/water in a ball mill with a circulating load .....	221
<i>Andrij Kotysh, Petro Pleshkov, Anatolij Orlovich, Oleksandr Sirikov, Andrij Nekrasov</i> Development and experimental research latch short circuit for air electric networks voltage 110 – 150 kV.....	228
<i>Maria Miroschnichenko, Valentina Zubenko, Tetyana Prokopenko</i> Simulation of neural-network control temperature and humidity conditions in the greenhouse.....	235
<i>Andrii Muzychak</i> Methodology and practice of energy audit of municipal heat power companies.....	240
<i>Petr Pleshkov, Volodimir Bondarenko, Sergiy Serebrennikov, Ivan Savelenko, Kateryna Petrova</i> Increasing the level of the energy efficiency of the higher education institutions by identifying order of priority of implementation ways of power saving .....	247
<i>Petro Pleshkov, Valentin Soldatenko, Maxim Kubkin</i> Mathematical model of hybrid power system .....	256
<i>Igor Sinchuk, Olena Yalovaya, Sergiy Boyko</i> The specifics of modeling of renewable energy sources in the environment of Homer energy for the purpose of implementation of measures to improve electrical energy efficiency of iron ore mines .....	262

<i>Alexander Stenin, Olga Polshakova, Sergey Stenin</i> System principle of the automated training systems .....	269
<i>Valentine Tkachenko, Kateryna Petrova</i> Increasing the level of the energy efficiency of the higher education institutions by identifying order of priority of implementation ways of power saving .....	275
<i>Dmitro Trushakov, Serhiy Rendzinyak</i> The application of hybrid training workshop during practical lessons of automation and electrical engineering .....	281
<i>Viktorija Cherna</i> Development improved design direct current traction motors for mine contact electric .....	287
<i>Dmitry Shevchuk</i> Model of diagnostic server to monitoring system for constructions in use .....	293
<i>Shokarov Dmytro</i> On the question of research of characteristics of the output voltage waveforms structure of a voltage inverter-induction motor .....	298
<i>Ivan Savelenko</i> Mathematical modeling of transients in traction drive with synchronous motor on the permanent magnets with of starting winding .....	304

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ  
МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

В и п у с к 29

Відповідальний за випуск Шепеленко І.В.

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»  
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.  
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25  
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 28.03.2016р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 39,75  
Тираж 300 прим. Зам. № 0107